Handbuch

der

Astronomischen Instrumentenkunde.

Eine Beschreibung
der bei astronomischen Beobachtungen benutzten Intrumente
sowie
Erläuterung der ihrem Bau, ihrer Anwendung und Aufstellung
zu Grunde liegenden Principien.

Von

Dr. L. Ambronn,
Professor an der Universität und Observator an der königl. Sternwarte zu Göttingen.

Mit 1185 in den Text gedruckten Figuren.

Zweiter Band.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1899.

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Inhalts-Verzeichniss.

II. Band.

IV. Abschnitt:

Mikrometer.

V. Abschnitt:

Instrumente zu besonderen Zwecken.

VI. Abschnitt:

Die ganzen Instrumente.

V. Abschnitt:

Instrumente zu besonderen Zwecken.

VI. Abschnitt:

Die ganzen Instrumente.

VII. Abschnitt:

Pfeiler- und Sternwartenbauten.

Berichtigungen.

Seite 506 In Fig. 518 lies Decl, statt Decb.
„ 512 Zeile 1 von unten lies Bigourdan statt Bigaurdan.
„ 518 „ 9 von unten lies § 894 statt S. 890.
„ 517 „ 12 von unten lies Horrox statt Horroks.
„ 549 „ 15 von oben lies Reslhuber statt Reselhuber.
„ 572 „ 16 von unten lies Fig. 580 statt 578.
„ 586 „ 4 von oben lies Houzeau statt Honzeau.
„ 718 „ 7 von oben lies Smyth statt Smith.
„ 755 „ 22 von unten lies Lockyer statt Lokyer.
„ 758 „ 5 von oben lies Lockyer, Janssen statt Lokyer, Jansen.
„ 818 „ 7 von oben lies Talcott statt Talkott.
„ 888 „ 2 von oben lies Georgetown statt Georgtown.
„ 964 „ 8 von unten lies Bd. I statt Bd. II.
„ 1080 „ 7 von unten lies Nairne statt Nairna.

IV.

Mikrometer.

Zehntes Kapitel.

Fokalmikrometer.

Mittelst der an den astronomischen Instrumenten angebrachten Kreise ist es möglich, die Winkel zu messen, welche die Visirlinie des Fernrohres entweder mit den festen Ebenen des Horizontes, Meridians oder des Äquators macht oder auch denjenigen, welche zwei solche Visirlinien unter einander einschliessen. Dabei ist die Messung stets von den Theilungen der Kreise sowohl, als auch von deren Stellung zu der Fundamentalebene abhängig. Das führt vielfach zu umständlichen Rechnungen und bedingt auch sonst manche Beschränkung in den Beobachtungsverfahren. Namentlich machen sich diese Umstände fühlbar bei kleinen Winkelabständen zweier Gestirne, bei Durchmesserbestimmungen von Sonne, Mond und Planeten, bei Doppelsternen u. s. w. Man hat daher im Laufe der Zeit eine ganze Reihe von Einrichtungen konstruirt, welche solche Messungen von den Kreisen der Instrumente möglichst unabhängig machen, und daher in den eben angedeuteten Fällen weitaus den Vorzug verdienen. Man pflegt diese Einrichtungen unter dem Gesammtnamen „der Mikrometer" zusammen zu fassen, weil es sich fast ausschliesslich um kleine Winkelgrössen (höchstens 2—3 Grad) handelt und weil man im Stande ist, mittelst solcher Mikrometer auch sehr kleine Grössen der Messung zugänglich zu machen. In letzterer Beziehung ist auch auf das bei Besprechung des Ablesemikroskops Vorgebrachte zu verweisen, da die an diesem Instrument zur Messung dienenden Theile auch nichts Anderes sind als Mikrometer und zwar solche von der Art der Schraubenmikrometer.

Die Mikrometer lassen sich nach verschiedenen Principien zusammenfassen. Einmal nach der Art ihrer Anwendung als solche, welche an feststehendem Fernrohr angebracht sind und bei denen die tägliche Bewegung der Gestirne resp. die Zeit zur Messung des Unterschiedes der Visirrichtungen nach zwei Gestirnen herangezogen werden muss, und in solche, bei denen sich der Messapparat im Mikrometer selbst befindet in Form einer Schraube, Skala oder dergl., in welchem Falle, wenn möglich, das Fernrohr resp. die Beobachtungsmethode durch ein Uhrwerk (Triebwerk) von der täglichen Bewegung unabhängig gemacht wird. Eine andere Eintheilung beruht auf der Konstruktion des mikrometrischen Apparates selbst und findet mehr in den technischen Formen desselben ihren Ausdruck. Nach letzterem Gesichtspunkte wird die nachfolgende Besprechung im Wesentlichen angeordnet werden.

1. Mikrometer mit fester Messvorrichtung im Fokus.

Solcher Art war das zuerst von Huygens angewandte und in seinem „Systema Saturni"[1]) beschriebene Mikrometer, welches er zur Bestimmung der Planetendurchmesser benutzte. Es bestand aus einer keilförmig zugeschnittenen Lamelle von undurchsichtigem Material, Fig. 516, welche von aussen in die Ebene der Blende im Fokus des Objektivs eingeführt werden konnte, und dort einen entsprechenden Theil des durch diese Blende begrenzten Gesichtsfeldes verdeckte. Brachte man nun z. B. das Bild des zu messenden Planeten an diejenige Stelle der Lamelle, an welcher er gerade von ihr verdeckt wurde, so war offenbar der scheinbare Durchmesser desselben sehr nahe so gross, wie der Abstand der beiden Lamellenkanten an dieser Stelle.[2]) Huygens ermittelte nun vermittelst direkter Messung diesen Abstand und verglich denselben mit der Grösse des ebenfalls gemessenen Durchmessers des Blendenringes. Ausserdem beobachtete er bei fest stehendem Fernrohr die Zeit, welche ein Gestirn von bekannter Deklination gebrauchte, um vermöge der täglichen Bewegung den Durchmesser dieses Ringes zu durchlaufen. Dividirte er diese Zeit durch die Sekante der Deklination, so hatte er nach Verwandlung des Resultates in Bogenmaass die Anzahl von Graden, Minuten und Sekunden, welche dem Durchmesser des Gesichtsfeldes entsprachen. Durch Vergleichung der Breite der Lamelle mit dem so gefundenen Blendendurchmesser ermittelte er die Grösse der Planeten oder einer anderen der Messung unterworfenen Distanz. Die Unvollkommenheit dieses Apparates liegt fast völlig an der Schwierigkeit der nöthigen linearen Messungen des Keiles und des Kreisdurchmessers, während die Ermittelung des Maassstabes der bei unseren heutigen Ringmikrometern befolgten Methode gleichkommt.

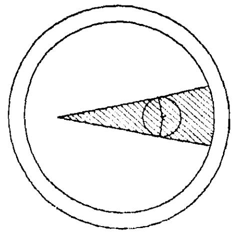


Fig. 516.

Es ist nicht möglich, hier auf alle im Laufe der Zeit vorgeschlagene mikrometrische Einrichtungen dieser Art einzugehen, das würde vielmehr einer „Geschichte des Mikrometers" zugehören, und es sollen daher hier auch nur diejenigen Mikrometer eingehend beschrieben werden, welche heute noch mehr oder weniger in Anwendung kommen, während ich glaube, dass eine Beschreibung dieser ersten Huygens'schen Einrichtung aus historischem Interesse nicht übergangen werden durfte.[3])

A. Keilförmige Lamellen- und Strichmikrometer.

Dem Huygens'schen Mikrometer sehr nahe steht eine Einrichtung, welche bei Gelegenheit des Merkurdurchgangs vom 6. Mai 1878 in Princeton ange-

---

[1]) Christiani Hugenii Opera, ed. s. Gravesende, Th. III (Systema Saturni), S. 593, oder Chr. Hugeni, Systema Saturn., Hagae Comitis, Ex. Typogr. Adriano Vlaco. 1659, S. 82 u. 83.

[2]) Eigentlich ist der Durchmesser gleich der Summe der beiden an den tangirenden Stellen errichteten Lothe von diesen Stellen bis zu ihrem Durchschnittspunkte.

[3]) Als ein Mikrometer noch älteren Datums ist wohl das von Gascoigne schon um das Jahr 1641 angewandte zu betrachten, welches aber auf dem Princip des Schraubenmikrometers beruhte und dort kurz erwähnt werden wird (vergl. Lalande, Astronomie, Bd. II, S. 598).

wendet wurde.[1]) In der Brennebene des Objektivs befindet sich eine Skala, Fig. 517, mit 48 gleichen Intervallen, welche durch vertikale Linien gebildet werden. Durch diese hindurch sind ausser einer horizontalen Linie O noch vier weitere A, B, C und D mit verschiedener Neigung gegen O gezogen; A und B mit 1 zu 100, C und D mit einer Neigung von 1 zu 50. Durch genaue Ausmessung der Abstände dieser Linien von O an einigen Stellen lassen jene sich durch Rechnung für jeden beliebigen Punkt leicht finden; zu diesem Zweck dienen die 48 Linien, deren Intervalle durch Sterndurchgänge bestimmt werden können. Lässt man nun z. B. einen Planeten

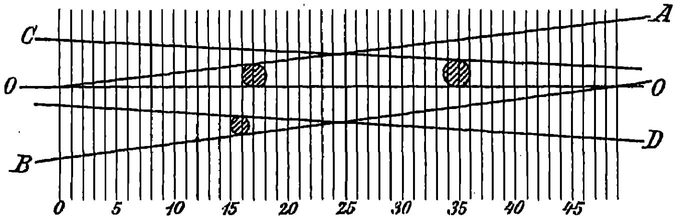


Fig. 517.

zwischen die Linien O, A, B, C und D so hineinlaufen, dass er zwei derselben gerade berührt, und bestimmt diesen Punkt auf O mit Hülfe der Skalentheile, so kann man den Durchmesser des Planeten offenbar finden. Da die Neigung der Linien zu einander an den Stellen gleicher Distanz eine verschiedene ist, trägt eine Vervielfältigung der Messungen an verschiedenen Stellen wesentlich zur Erhöhung der Genauigkeit bei. Einige Beispiele am angeführten Orte zeigen die Brauchbarkeit der Einrichtung. Hergestellt wurde das Mikrometer durch Photographie nach einer in weit grösserem Maassstabe ausgeführten Zeichnung.

An diese Art der Mikrometer schliessen sich wohl nicht zeitlich, aber dem Wesen nach diejenigen an, bei denen ein in der Fokalebene ausgespannter Faden, eine Lamelle oder eine Anzahl solcher vorhanden ist, deren Lage im Gesichtsfeld zum Zwecke der Beobachtung nicht oder nur durch Drehung des sie tragenden Diaphragma um die optische Axe geändert wird. Die diesen Mikrometern gemeinsam zu Grunde liegende Absicht ist sowohl hier, als auch bei den weiterhin zu besprechenden Ringmikrometern, meist die, die Beobachtung sehr lichtschwacher Objekte ohne Beleuchtung zu ermöglichen oder nur ganz einfache mechanische Mittel zu benutzen.

B. Boguslawsky's Mikrometer.

Das Mikrometer nach dem Vorschlage von H. v. Boguslawsky[2]) besteht einfach aus einem Faden oder einer Lamelle, welche sich im Fokus des Objektivs befindet und dort einen Durchmesser des Gesichtsfeldes darstellt. Lässt sich diese Einrichtung um die optische Axe drehen, sodass der Faden oder die Lamelle verschiedene Winkel mit dem Deklinationskreise einschliesst, so kann durch Antrittsbeobachtungen von bekannten und unbekannten Gestirnen

[1]) Monthly Notices, Bd. XXXIX, S. 169.

[2]) Memoirs of the Royal Astron. Soc., Bd. X, S. 198.

die Position der letzteren wie folgt bestimmt werden. Wenn α^0 die Rektascension eines bekannten Sternes, δ^0 dessen Deklination und τ^0 die Zeit des Antritts für eine bestimmte Stellung des Fadens sind (wenn er den Winkel π, Fig. 518, mit dem Deklinationskreis macht), ebenso A, D und T die ent-

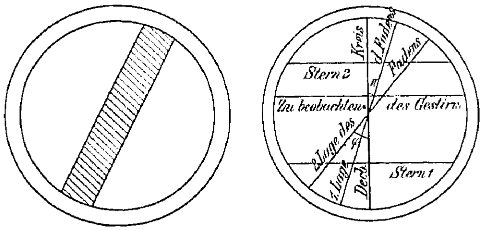


Fig. 518.

sprechenden Grössen für ein Gestirn, dessen Position bestimmt werden soll, so hat man ohne Weiteres:

$$(1) \quad . \quad . \quad . \quad \mathrm{T} - \tau^0 = \mathrm{A} - \alpha^0 - \frac{\mathrm{D} - \delta^0}{15 \cos {}^1/_2 (\mathrm{D} + \delta^0)} \operatorname{tg} \pi.$$

Sind weiterhin α', δ' und τ' für einen zweiten bekannten Stern gültig, so hat man eine ganz ähnliche Gleichung von der Form:

$$(2) \quad . \quad . \quad . \quad \tau' - \tau^0 = \alpha' - \alpha^0 - \frac{\delta' - \delta^0}{15 \cos {}^1/_2 (\delta' + \delta^0)} \operatorname{tg} \pi.$$

Aus (1) und (2) lässt sich $\operatorname{tg} \pi$ eliminiren, und man hat dann:

$$(3) \quad \mathrm{T} - \tau^0 = \mathrm{A} - \alpha^0 - \left\{(\alpha' - \alpha^0) - (\tau' - \tau^0)\right\} \frac{\mathrm{D} - \delta^0}{\delta' - \delta^0} \cdot \mathrm{c},$$

wo

$$\mathrm{c} = \frac{15 \cos {}^1/_2 (\delta' + \delta^0)}{15 \cos {}^1/_2 (\mathrm{D} + \delta^0)}$$

und mit Ausnahme der Nähe des Poles immer sehr nahe der Einheit gleich sein wird.

Daraus folgt weiter:

$$(4) \quad \left\{(\mathrm{A} - \alpha^0) - (\mathrm{T} - \tau^0)\right\} (\delta' - \delta^0) = \left\{(\alpha' - \alpha^0) - (\tau' - \tau^0)\right\} (\mathrm{D} - \delta^0) \,.\, \mathrm{c}.$$

Dreht man nun die Lamelle oder den Faden, so dass er einen anderen Winkel φ mit dem Deklinationskreis einschliesst und nennt die Antrittszeiten derselben 3 Objekte resp. ϑ^0, ϑ' und Θ, so gelangt man auf demselben Wege zu dem der Gleichung (4) entsprechenden Ausdruck:

$$(5) \quad \left\{(\mathrm{A} - \alpha^0) - (\Theta - \vartheta^0)\right\} (\delta' - \delta^0) = \left\{(\alpha' - \alpha^0) - (\vartheta' - \vartheta^0)\right\} (\mathrm{D} - \delta^0) \,.\, \mathrm{c}.$$

Durch Verbindung beider Gleichungen wird c eliminirt und man erhält:

$$(6) \left\{ \begin{aligned} \mathrm{A} - \alpha^0 &= \mathrm{T} - \tau^0 + [(\alpha' - \alpha^0) - (\tau' - \tau^0)] \frac{(\Theta - \vartheta^0) - (\mathrm{T} - \tau^0)}{(\vartheta' - \vartheta^0) - (\tau' - \tau^0)} \\ &= \Theta - \vartheta^0 + [(\alpha' - \alpha^0) - (\vartheta' - \vartheta^0)] \frac{(\mathrm{T} - \tau^0) - (\Theta - \vartheta^0)}{(\tau' - \tau^0) - (\vartheta' - \vartheta^0)}. \end{aligned} \right.$$

$$(7) \quad . \quad . \quad . \quad D - \delta^0 = \frac{\delta' - \delta^0}{c} \cdot \frac{(\Theta - \delta^0) - (T - \tau^0)}{(\vartheta' - \vartheta^0) - (\tau' - \tau^0)} \cdot {}^{1})$$

Auf diesem Wege sind also mit Hülfe zweier bekannter Sterne, deren Deklinationsunterschied gegen das zu bestimmende Objekt nicht gross ist, und zweier Lagen der Lamelle oder des Fadens gegen den Deklinationskreis die Koordinaten eines Kometen, Planeten oder dergl. leicht zu bestimmen. Vertragen die Objekte eine Beleuchtung des Gesichtsfeldes, wird man einen Faden anwenden, dagegen für sehr schwache Gestirne Lamellen, welche auch ohne Beleuchtung auf dem Himmelsgrunde sichtbar sein werden. Der Umstand, dass bei der Anwendung des Boguslawsky'schen Mikrometers immer zwei bekannte Sterne und zwei Stellungen der Lamelle erforderlich sind, machte seine Anwendung etwas unbequem, und es ist deshalb in unserer Zeit der diesem Mikrometer zu Grunde liegende Gedanke in anderer Form wieder aufgenommen worden. Vogel und Kempf haben das Boguslawsky'sche Mikrometer mit einem guten Positionskreis verbunden und dem Faden resp. der Lamelle dann messbare Neigungen gegen den Deklinationskreis gegeben, wodurch die $\operatorname{tg} \pi$ bestimmt wurde und so nur **ein** bekanntes Gestirn unbedingt erforderlich wurde. Es zeigte sich bald, dass die Positionswinkel von $+45^0$ und -45^0 die günstigsten für die Messungen seien, wenn man nicht, wie es Boguslawsky selbst schon vorgeschlagen hatte, zur Bestimmung der Rektascensionen den Faden resp. die Lamelle in den Deklinationskreis selbst bringen wollte.[2]) Die Beobachtungen liefern dann zwei resp. vier Antrittszeiten für jedes Objekt, und man hat weder einen konstanten Winkel, noch Radien wie beim Kreismikrometer zu bestimmen.[3]) Die Antritte erfolgen im Gegensatz zu letzterem an geraden Linien und liefern so beide Koordinaten theoretisch mit gleicher Genauigkeit. Ja die Erfahrung hat gelehrt, dass sogar die Deklinationsdifferenzen noch etwas genauer ausfallen, als diejenigen der Rektascensionen. Die Theorie dieses Instrumentes ist dann einfach die folgende:[4]) Es seien α und δ die Koordinaten des bekannten, A und D die des unbekannten Gestirns; die Antrittszeiten an die Lamelle mögen in der ersten Lage ϑ_1 und ϑ'_1, in der zweiten ϑ_2 und ϑ'_2 sein, dann ist, wenn ε_1 und ε_2 die Winkel sind, welche die Lamelle mit der Richtung der täglichen Bewegung macht:

$$\left.\begin{aligned} \vartheta'_1 - \vartheta_1 &= \alpha' - \alpha + (\delta' - \delta) \sec \delta_0 \operatorname{cotg} \varepsilon_1 \\ \vartheta'_2 - \vartheta_2 &= \alpha' - \alpha + (\delta' - \delta) \sec \delta_0 \operatorname{cotg} \varepsilon_2 \end{aligned}\right\} \text{wo } \delta_0 = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta) \text{ gesetzt ist.}$$

Wählt man jetzt ε_1 und ε_2 den obigen Angaben gemäss gleich $+45^0$ und -45^0, so gehen die beiden Gleichungen über in

---

[1]) Wie bei den meisten Mikrometerbeobachtungen sind auch hier an die erhaltenen Rektascensions- und Deklinations-Differenzen noch die bezüglichen Reduktionen wegen Eigenbewegung und Refraktion anzubringen. An dieser Stelle kann aber natürlich nicht weiter darauf eingegangen werden und ist auf die oben angeführte Originalarbeit zu verweisen.

[2]) Memoirs of the Royal Astron. Soc., Bd. XV, S. 195.

[3]) Vergl. das über Kreismikrometer Gesagte.

[4]) Kempf, Über Lamellenmikrometer (Astron. Nachr., Bd. 119, S. 33, Bd. 129, S. 233 und Bd. 134, S. 279).

$$\vartheta'_1 - \vartheta_1 = \alpha' - \alpha + (\delta' - \delta)\sec.\delta_0$$
$$\vartheta'_2 - \vartheta_2 = \alpha' - \alpha - (\delta' - \delta)\sec.\delta_0$$

und hieraus folgt, wenn man noch $\vartheta'_1 - \vartheta_1 = \tau_1$; $\vartheta'_2 - \vartheta_2 = \tau_2$; $\alpha' - \alpha = \mathrm{d}\alpha$; und $\delta' - \delta = \mathrm{d}\delta$ setzt:

(1) . . . . $\mathrm{d}\alpha = \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2)$

(2) . . . . $\mathrm{d}\delta = 15\,(\tau_1 - \tau_2)\cos.\delta_0$

Gleichung (1) und (2) sind die Reduktionsformeln für diese Art der Mikrometer. Auch hier sind für den Fall grösserer Genauigkeit und für ein bewegtes Gestirn noch die Korrektionen für Refraktion und Eigenbewegung an die Resultate anzubringen.

C. Kreuzstabmikrometer.

In ganz gleicher Weise stellt sich die Betrachtung für eine Form dieses Mikrometers, wie sie TUPMAN[1]) vorgeschlagen hat und bei dem die Drehung der Lamelle dadurch ersetzt wird, dass man gleich von vornherein zwei zu einander senkrechte Lamellen anbringt, welche einen Winkel von 90^0 miteinander einschliessen. Stellt man dann zunächst zur Bestimmung des scheinbaren Parallels eine dieser Lamellen in der Nähe des Meridians der täglichen Bewegung eines Äquatorealsternes parallel, so kann man mittelst des Positionskreises die 45^0-Stellung leicht erzielen. Um sich von der Forderung der Konstanz des Lamellenwinkels sowohl als auch von derjenigen, dass die Drehung um 45^0 exakt ausgeführt werden muss, frei zu machen, hat SCHEINER bei seinen diesbezüglichen Beobachtungen in Bonn dieses Lamellenkreuz stets in zwei um genau 90^0 von einander verschiedenen Stellungen benutzt, dadurch immer die beiden Nebenwinkel, welche sich sicher zu 180^0 ergänzen werden, kombinirt und auf diese Weise die aus Unrichtigkeiten des Mikrometers oder dessen Stellung zum Deklinationskreis resultirenden Fehler unschädlich gemacht.[2]) In dieser Form gelangt jetzt das Lamellenmikrometer unter der Bezeichnung „Kreuzstabmikrometer“ häufig zur Anwendung, da es, wie aus der Theorie desselben hervorgeht, mehrere Vorzüge vor dem bisher im unbeleuchteten Gesichtsfeld meist benutzten Ringmikrometer (siehe dort) hat. Andererseits ist allerdings die bequeme Anwendbarkeit auf Fernrohre mit parallaktischer Bewegung beschränkt, was beim Ringmikrometer nicht der Fall ist. Eine eingehende Theorie dieses Mikrometers hat P. KEMPF[3]) gegeben.

Die technische Ausführung eines solches Mikrometers hat zunächst darauf Rücksicht zu nehmen, dass der Ring, welcher die beiden senkrecht zu einander stehenden Lamellen trägt, deren Querschnitt etwa von der Form  zu wählen ist, sich leicht in den Fokus des Objektivs bringen lässt. Ferner muss dessen Führungsröhre sich mit dem Mikrometer (nach einer event. Klemmung) sowohl zusammen, als auch für sich allein in dieser Röhre drehen

[1]) Monthly Notices, Bd. XLVIII, S. 96. — The Observatory 1888, S. 58 — Zschr. f. Instrkde. 1888, S. 215.

[2]) Vergl. Astron. Nachr., Bd. 119, S. 33.

[3]) Vergl. dazu: Astron. Nachr., Bd. 134, S. 21 u. S. 279.

lassen, ohne dass eine Verschiebung längs der optischen Axe erfolgt. Fig. 519 stellt eine solche Konstruktion schematisch dar.

In das Auszugsrohr des Okularkopfes ist das Mikrometer vermittelst des Gewindes bei b eingeschraubt, in diesem Rohre bewegt sich gut eingepasst das mit der Flansche c versehene und den Theilungskreis g tragende Rohr b′. Die Flansche umfasst der auf b fest geschraubte Ring d, von welchem ein Stück ausgeschnitten ist, um mittelst der Kopfschraube e als Klemmung für b′ zu dienen. In dem Rohre b′ dreht sich das eigentliche Mikrometerrohr, welches bei f die Mikrometerlamellen und bei i einen Indexkreis trägt. Um eine Längsverschiebung dieses Rohres zu verhindern, ist an dem dem Objektiv zugekehrten Ende ein schmaler Kreis k eingeschraubt, der über das Rohr b′ hinweg greift und durch die beiden kleinen Schräubchen m m gesichert wird. Um die Reibung, mit der sich das Mikrometerrohr in dem Rohre b′ dreht, zu reguliren, sind die Durchbohrungen des Kreises k als Schlitze von etwa 50⁰ Centriwinkel ausgeführt, sodass nach Lösung der Schräubchen m eine Lüftung oder ein schärferes Anziehen des Ringes k möglich wird. In das Mikrometerrohr h ist sodann das Ramsden'sche Okular eingeschoben. Durch diese Konstruktion lassen sich die oben als erforderlich erwähnten Bedingungen leicht erfüllen, so dass die gute Centrirung, welche erforderlich ist, bestehen bleibt, sobald sie nur anfangs vorhanden war.

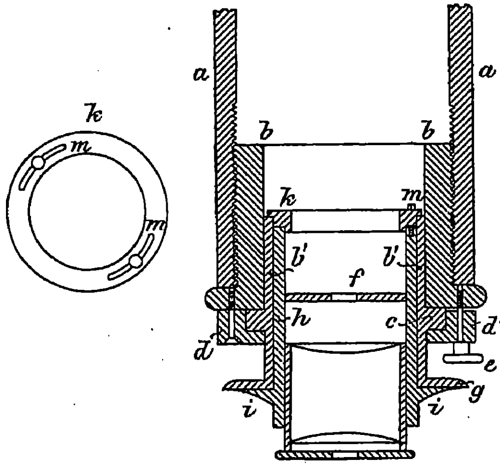


Fig. 519.

D. Rautenmikrometer.

Im Princip dieselbe Einrichtung wie das oben näher erläuterte Kreuzstabmikrometer hat schon Bradley dem nach ihm benannten Rautennetz oder Rautenmikrometer gegeben. Dasselbe bestand zunächst aus vier in der Fokalebene ausgespannten Fäden oder Drähten, welche die Seiten eines Rhombus bildeten, dessen kleine Diagonale a c, Fig. 520, in die Richtung der täglichen Bewegung gebracht wurde und dessen grosse Diagonale in Folge dessen einem Stundenkreis entsprach. Häufig wurden noch diesen Diagonalen entsprechende Fäden eingezogen.

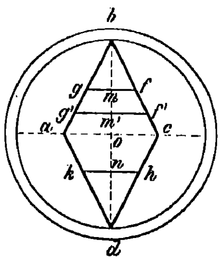


Fig. 520.

Beobachtet man nun die Durchgänge eines bekannten Sternes und eines solchen, dessen Position bestimmt werden soll durch die entsprechenden Fäden oder Lamellen des Rhombus, so wird man aus den Durchgangszeiten sowohl die Rektascensions- als auch die Deklinationsdifferenz fast ganz auf dieselbe Weise finden können, wie es bei dem Kreuzstabmikrometer geschieht, nur

muss man hier noch besonders darauf achten, ob die Durchgänge der Sterne auf derselben Seite der kleinen Diagonale oder auf entgegengesetzten Seiten derselben stattfanden.

Ist das Rautenmikrometer richtig orientirt und sind die vier Seiten genau gleich lang, so wird man aus den vier Antrittszeiten der beiden Sterne bei f und g, resp. h und k Fig. 520, welche mit t, t′, τ und τ' bezeichnet werden mögen, den Durchgang der beiden Sterne durch die Diagonale b d finden für:

Stern 1 . . . . $\frac{t + t'}{2}$

Stern 2 . . . . $\frac{\tau + \tau'}{2}$,

also den Rektascensionsunterschied bei unveränderter Stellung des Fernrohres

$$\Delta a = \frac{1}{2}(t + t' - \tau - \tau').$$

Die Entfernung o m oder o n, in welcher der Stern, von der kleinen Diagonale aus gerechnet, passirt, wird sich finden lassen aus der Gleichung

$$\frac{ob}{oa} = \frac{ob - om}{mg},$$

hieraus

$$om = ob - mg \cdot \frac{ob}{oa} = ob - mg \cdot \operatorname{cotg} \cdot \frac{1}{2}(abc).$$

In welcher Gleichung a b die halbe grosse, a o die halbe kleine Diagonale und m g die halbe Differenz der Antrittszeiten

$$\frac{1}{2}(t - t') \text{ ist.}$$

Nennt man also die Grösse der Diagonalen a c und b d resp. A und B oder $\operatorname{tg} \alpha = \frac{A}{B}$ und setzt o m (die Deklinationsdifferenz zwischen dem Mittelpunkt des Rhombus und dem passirenden Stern) $= \Delta \delta_0$, so hat man, wenn weiterhin berücksichtigt wird, dass die Verweilungszeiten mit der Sekante der Deklination D des Gestirns wachsen:

$$\Delta \delta_0 = \frac{1}{2}(B - 15\,[t - t']\operatorname{cotg} \alpha \cos D),$$

wo entweder A und B direkt oder dadurch gemessen werden müssen, dass man Sterne mit bekanntem Deklinationsunterschied mehrfach beobachtet und sodann die Gleichungen nach B und tg α als Unbekannte auflöst. Ist auf die angegebene Art die Deklinationsdifferenz sowohl des bekannten als des unbekannten Sternes von dem Mittelpunkt des Rhombus bestimmt, so hat man, um diejenige der beiden Sterne zu finden, die beiden $\Delta \delta_0$ nur additiv oder substraktiv mit einander zu vereinigen, je nachdem die Sterne auf verschiedenen oder derselben Seite der Diagonale a c das Mikrometer passirten.

Dieses zu unterscheiden ist nicht immer ganz leicht, deshalb hatte schon Bradley und später namentlich Lacaille dem Mikrometer die in Fig. 521 abgebildete Form gegeben. Es wurde dabei das Rautennetz nicht durch vier Fäden gebildet, welche wohl für Beobachtungen der Sonne, des Mondes oder anderer heller Objekte geeignet sind, nicht aber für Gestirne, da ein solches Mikrometer im dunklen Gesichtsfelde nicht sichtbar sein würde, sondern durch vier breite Lamellen, welche nach genauer Zeichnung aus einer Kupfer- oder Messingplatte herausgeschnitten worden waren. Die eine dieser Lamellen war aber nicht eigentlich als solche gebildet, sondern hing mit der Metallplatte noch zusammen; sodass in dem entsprechenden Quadranten das Gesichtsfeld ausserhalb des Rhombus ganz verdeckt wurde. Dadurch war es möglich, mit Leichtigkeit zu sehen, ob ein Stern südlich oder nördlich des Mittelpunktes des Rhombus durch das Gesichtsfeld ging. Eine Schraube in Verbindung mit einem Zahnkranz diente, wie man leicht sieht, zur Orientirung des Mikrometers. Dieses Mikrometer hat mit dem Kreuzstabmikrometer den Vorzug gemein, dass sich Rektacensionsdifferenz und Deklinationsdifferenz mit nahezu gleicher Genauigkeit bestimmen lassen, aber es ist für dasselbe die Konstantenbestimmung erheblich schwieriger, wenn man nicht den Rhombus in ein genaues Quadrat überführt, wobei dann allerdings cotg α auch der Einheit gleich werden würde und die Formeln fast genau die Form derjenigen für das Kreuzstabmikrometer annehmen. Auch würde sich im Falle einer möglichen Drehung des Quadranten um genau 90^0 oder 180^0 Fehler, welche durch unrichtige Form des Quadranten bedingt werden können, eliminiren lassen.[1])

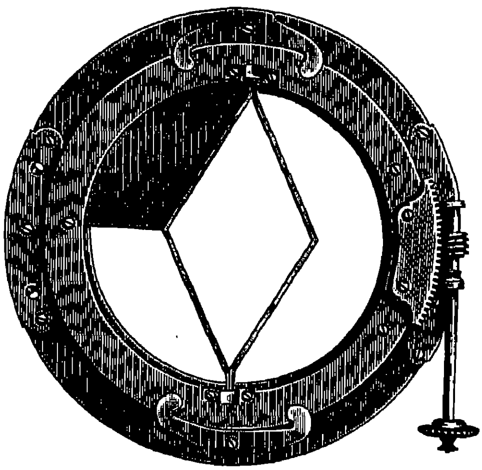


Fig. 521.

Mehr in Verwendung als das vollständige Quadrat ist diejenige Form des Rautennetzes, für welche die kleine Diagonale halb so lang ist, als die grosse. Wird für einen solchen Rhombus ebenfalls die kleine Diagonale der täglichen Bewegung parallel gestellt, so wird jeder Stern gerade so lange zum Durchgang durch das Netz gebrauchen, als der Abstand seiner Bahn von der zunächst gelegenen spitzen Ecke des Rhombus beträgt, also

$$2\,ac = bd \text{ und daher auch } gf = mb = 15\,(t' - t)\cos\delta,$$

wenn t und t' die resp. Antrittszeiten an die Fäden oder Lamellenkanten cb und ab sind und δ die Deklination des Gestirnes ist.

Für einen zweiten Stern hat man dann

[1]) Vergl. J. C. Burckhardt, Über den Gebrauch des vollkommenen Vierecks statt des Bradley'schen Rhombennetzes — Zach, Monatl. Korrespondenz, Bd. I, 1810.

$$m'b = g'f' = 15(\tau' - \tau) \cos \delta_1,$$

und aus der Differenz den Deklinationsunterschied

$$\Delta\delta = m'b - mb = m'm = 15[(t' - t) \cos \delta - (\tau' - \tau) \cos \delta_1]$$

$\Delta\alpha$ findet sich natürlich auf dieselbe Weise, wie oben in dem allgemeinen Fall.

Im Laufe der Zeit wurden nicht nur rautenförmige Netze angewandt, sondern man benutzte wohl auch statt derselben gleichschenklige Dreiecke, welche dann eigentlich nur die eine Hälfte eines Rhombus darstellten. Wenn auch diese leichter herstellbar sind und keine Unterscheidung zwischen nördlicher und südlicher Hälfte des Gesichtsfeldes nöthig machen, so wird bei denselben doch ein Theil des Gesichtsfeldes als unbenutzbar ausgeschlossen (an der Grundlinie). Auch eine Vervielfältigung des Rhombus ist mehrfach vorgeschlagen und auch angewendet worden. Es befinden sich dann im Gesichtsfeld nicht nur 4 Lamellen, sondern eine grössere Anzahl, welche sich (meist) rechtwinklig durchschneiden und so eine ganze Anzahl von Rhomben bilden.[1]) Fig. 522 stellt ein solches von Repsold auf den Wunsch von Klinkerfuss angefertigtes Netz dar, welches dazu gedient hat, im Göttinger Meridiankreis kleine Planeten bei unbeleuchtetem Gesichtsfeld zu beobachten. Die Theorie dieser Instrumente ist natürlich nur etwas erweitert dieselbe, wie für das einfache Rautennetz. Die Orientirung hat dann so zu geschehen, dass sich die Linie a . . . b in der Richtung der täglichen Bewegung befindet oder deren Abweichung davon bestimmt werden kann.

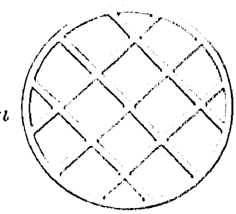


Fig. 522.

E. Kreismikrometer.

Diese Form des Mikrometers ist eine der am häufigsten im Gebrauch befindliche und überall da mit Vortheil angewandt worden, wo eine Beleuchtung des Gesichtsfeldes nicht angängig und ausserdem die verlangte Genauigkeit der Natur der beobachteten Objekte entsprechend nicht eine sehr grosse zu sein braucht. Zuerst dürfte wohl Lacaille[2]) auf den Gedanken gekommen sein, das durch das letzte Diaphragma im Fernrohr begrenzte kreisrunde Gesichtsfeld als Mikrometer zu verwenden. Er versuchte aus dem Unterschied in den Durchgangszeiten zweier Sterne bei ruhendem Instrumente den Abstand der von ihnen beschriebenen Sehnen vom Centrum zu bestimmen, was bei Kenntniss des Durchmessers des Gesichtsfeldes möglich ist. Kannte er diese Abstände, so war ihm auch die Differenz und die Summe derselben bekannt oder, was dasselbe ist, der Deklinationsunterschied beider Gestirne. Andererseits lieferte ihm der Unterschied zwischen der halben Summe der Antrittszeiten der Gestirne an den Rand des Gesichtsfeldes ohne Weiteres die Rektascensionsdifferenz.

---

[1]) Astron. Nachr., Bd. 43, S. 107.

[2]) Vergl. Bull. Astron. 1895, Augustheft: Lacaille et l'invention du micromètre circulaire, par M. G. Bigaurdan.

Damit war das Princip des Kreismikrometers schon aufgestellt, und es hat sich im Laufe der Zeit nur noch um die Verfeinerung der Methode und der Apparate gehandelt.[1])

Die Benutzung der Blende als Kreismikrometer hatte abgesehen davon, dass ihre Form meist nicht sehr vollkommen war, namentlich den Übelstand, dass man vor Erscheinen des Gestirnes im Gesichtsfeld dasselbe nicht wahrnehmen konnte. Die Beobachtungen des Eintritts wurden dadurch erheblich unsicherer. Dem Mangel bezüglich der Kreisform konnte leicht durch Einsetzen eines besonders sorgfältig ausgedrehten Blendringes abgeholfen werden. Den zweiten Übelstand suchten Köhler[2]) und Repsold[3]) zu umgehen, indem sie einen schmalen Metallring, der an beiden Rändern gut abgedreht war, an zwei oben und unten angebrachten Verbindungsstreifen frei im Gesichtsfeld aufhingen, Fig. 523. Diese Einrichtung hat sich aber wegen der ge-

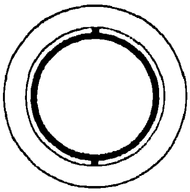


Fig. 523.

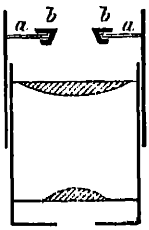


Fig. 524.

ringen Stabilität nicht bewährt, und zu eigentlichen Ehren ist das Ringmikrometer erst durch Fraunhofer gelangt,[4]) welcher ihm die heute noch benutzte Form gab. Olbers und Bessel bildeten die Theorie desselben aus, und namentlich der Erstere hat damit fast alle seine äusserst zahlreichen Kometenbeobachtungen, zu welchen es sich ganz besonders eignet, ausgeführt.[5]) Fraunhofer bohrte in ein Planglas ein kreisförmiges Loch und setzte in dasselbe einen schmalen, stählernen Ring, welchen er durch Umbiegen seines auf der einen Seite hervorstehenden Randes in demselben befestigte, Fig. 524. Die Ränder a und b werden sodann genau kreisförmig ausgeschliffen und die Glasplatte in einem besonderen Ansatz des Okularauszuges befestigt,[6]) sodass sie gegen das Objektiv mit diesem zugleich verstellt werden kann, ausserdem aber auch das Okular selbst sich scharf auf den Ring einstellen lässt. Dadurch ist einmal die Lage des Ringes gut gesichert und sodann auch das

[1]) Bezüglich der Geschichte des Kreismikrometers vergl. auch die sehr ausführlichen Angaben in Wolf, Handb. d. Astronomie, Bd. II, S. 127 ff.

[2]) Zach, Allgemeine geograph. Ephemeriden, Bd. III, S. 318.

[3]) Wolf, Handb. d. Astronomie, Bd. II, S. 390.

[4]) Beschreibung eines neuen Mikrometers (Astron. Nachr., Bd. 2, S. 51).

[5]) Olbers benutzte vielfach auch einen mit der Blende an vier Stellen verbundenen, sonst aber freischwebenden Ring.

[6]) Fraunhofer hat auch an Stelle der Metallringe auf die Glasplatte eine grössere Anzahl koncentrischer Kreise mittelst Flusssäure eingeätzt, Fig. 525; die Durchgänge der Gestirne durch diese Kreise lieferten dann ganz nach der Art der anderen Kreismikrometer die Rektascensions- und Deklinationsdifferenzen. Leider waren diese Mikrometer wieder nicht im dunklen Felde zu sehen.

Gestirn schon vor seinem Antritt an den Rand a sichtbar, sodass diese Antritte weit genauer beobachtet werden können. In manchen Mikrometern dieser Art findet man auch wohl zwei Glasplatten mit je einem solchen Ringe, aber von verschiedener Grösse, dicht hinter einander angebracht, sodass man zwei frei schwebende Ringe im Gesichtsfeld erblickt und dadurch die Zahl der Antritte verdoppeln kann, wie es Fig. 526 erkennen lässt.

Zur Anwendung dieser Mikrometer ist es nöthig, dass die angulären Werthe des Halbmessers der Ringe oder der die Ringe begrenzenden Kreise genau bekannt sind und da diese von der Entfernung Objektiv—Mikrometer-

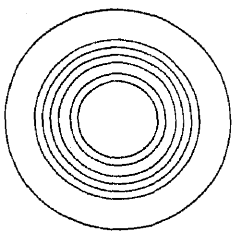


Fig. 525.

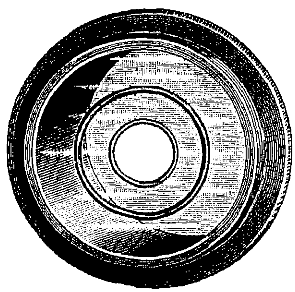


Fig. 526.

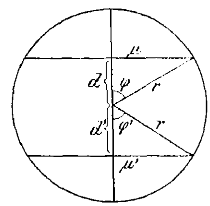


Fig. 527.

platte abhängig sind, muss man sehr genau darauf achten, dass bei jeder Beobachtung die Ringplatte wieder genau an dieselbe Stelle gebracht wird. Man markirt deshalb diese Stelle am Okularauszug, wenn dieser, wie es häufig der Fall ist, keine Theilungsleiste längs des Rohres trägt, am besten durch eine besondere Marke von der Form ⩘, welche man in den Okularauszug einreisst.

Die Halbmesser der Ringe muss man nach genauer Fokusirung am besten durch Sternbeobachtungen selbst bestimmen.[1]) Sind μ und μ' die Hälften der von zwei bekannten Sternen bei ihrem Durchgange durch das Kreismikrometer beschriebenen Sehnen, Fig. 527, und r der Radius desselben, so hat man

[1]) Man kann dazu auch die Sonne beobachten oder das Gauss'sche Verfahren anwenden, nach welchem man mit Hülfe eines Theodoliten die Divergenz der Axen der von den Ringrändern kommenden und aus dem Objektiv austretenden Strahlenbüschel mittelst des auf Unendlich eingestellten Theodoliten-Fernrohres beobachtet. Wird die Sonne zur Bestimmung des Radius benutzt, was sich empfiehlt, wenn mit den betreffenden Ringen Sonnenfleckenpositionen beobachtet werden sollen, so hat man, wie sehr leicht einzusehen, aus den beiden äusseren Berührungen, wenn R der Radius der Sonne und τ die Zwischenzeit ist,

$$(\mathrm{R} + \mathrm{r})^2 = (\delta - \mathrm{D})^2 + (15\,\tau \cos \delta)^2$$

und für die innere Berührung, wenn τ' die betreffende Zwischenzeit

$$(\mathrm{R} - \mathrm{r})^2 = (\delta - \mathrm{D})^2 + (15\,\tau' \cos \delta)^2,$$

wo D die Deklination der Mitte der Ringe und δ die der Sonne ist.

Hieraus findet sich sofort

$$\mathrm{r} = \frac{(15 \cos \delta)^2 (\tau + \tau')(\tau - \tau')}{4\,\mathrm{R}},$$

wobei zu bemerken ist, dass die Zwischenzeiten wegen der Bewegung der Sonne in wahrer Sonnenzeit ausgedrückt werden müssen.

$$\mu + \mu' = 2\,r \sin \frac{1}{2}(\varphi + \varphi') \cos \frac{1}{2}(\varphi - \varphi')$$

$$\mu - \mu' = 2\,r \cos \frac{1}{2}(\varphi + \varphi') \sin \frac{1}{2}(\varphi - \varphi'),$$

ebenso

$$r = \frac{d + d'}{2 \cos \frac{1}{2}(\varphi + \varphi') \cos \frac{1}{2}(\varphi - \varphi')} = \frac{\delta' - \delta}{2 \cos \frac{1}{2}(\varphi + \varphi') \cos \frac{1}{2}(\varphi - \varphi')},$$

daher

$$\frac{\mu + \mu'}{\delta' - \delta} = \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi + \varphi') \text{ und } \frac{\mu - \mu'}{\delta' - \delta} = \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi - \varphi');$$

durch Kombination beider Gleichungssysteme ergiebt sich sofort

$$r = \frac{\delta' - \delta}{2 \cos A \cos B} = \frac{\mu + \mu'}{2 \sin A \cos B} = \frac{\mu - \mu'}{2 \cos A \sin B},$$

wo nur

$$\frac{1}{2}(\varphi + \varphi') = A \text{ und } \frac{1}{2}(\varphi - \varphi') = B$$

gesetzt ist.

Dabei ist zu beachten, dass die halben Sehnen μ und μ' erhalten werden aus den Ein- und Austrittszeiten t_1 und t_2 resp. t'_1 und t'_2 durch die Gleichungen

$$2\,\mu = 15\,(t_2 - t_1) \cos \delta \text{ resp. } 2\,\mu' = 15\,(t'_2 - t'_1) \cos \delta',$$

und dass als $\delta' - \delta$ der durch die Refraktion geänderte Werth der Deklinationsdifferenz beider Sterne zu nehmen ist, nämlich

$$(\delta' - \delta)_0 = \delta' - \delta - \frac{57'' \sin(\delta' - \delta)}{\sin\left[N + \frac{1}{2}(\delta + \delta')\right]^2},$$

wo $\operatorname{tg} N = \operatorname{cotg} \varphi \cos t$, φ die geographische Breite und t das Mittel der Stundenwinkel sind.

Sind nach einer der besprochenen Methoden die Radien der beiden Ringkanten bestimmt, so findet sich Rektascensions- und Deklinationsunterschied der beiden beobachteten Gestirne, ohne auf die Ableitung der Formeln hier näher einzugehen, wenn man annimmt, dass die Gestirne am äusseren und inneren Rande des Ringes beobachtet sind und t_1, t_2, t_3 und t_4 die betreffenden Antrittszeiten für das eine Gestirn und τ_1, τ_2, τ_3 und τ_4 diejenigen für das andere Gestirn sind, und D die Deklination der Ringmitte ist

$$\alpha' - \alpha = \frac{1}{4}\left[(t_4 + t_1) - (\tau_4 + \tau_1) + (t_3 + t_2) - (\tau_3 + \tau_2)\right]$$

$\delta - D = a \cos A \cos B$, wenn $\sin A = \frac{\mu + \mu'}{2\,a}$; $\sin B = \frac{\mu - \mu'}{2\,a}$; $a = \frac{r + r'}{2}$ und μ resp. μ' die Verweilungszeiten für den äusseren und inneren Ring sind.

Für den zweiten Stern hat man in derselben Weise

$$\delta' - D = a \cos A_1 \cos B_1 \text{ und } \sin A_1 = \frac{\mu_1 + \mu'_1}{2\,a}, \quad \sin B = \frac{\mu_1 - \mu_1'}{2\,a}.$$

Je nachdem nun die Gestirne auf derselben Seite des Mittelpunktes durch den Ring gehen oder auf entgegengesetzter, hat man obige Ausdrücke zu subtrahiren oder zu addiren.

Die Beobachtungen sind für die Bestimmungen von $\alpha' - \alpha$ am günstigsten, wenn die Sterne nahe der Mitte der Ringe hindurchgehen, für die Deklination am günstigsten in grösserer Entfernung von derselben. Danach hat man die Auswahl der Vergleichssterne zu treffen. Hat das zu vergleichende Gestirn eine eigene Bewegung, so ist die erhaltene Deklinationsdifferenz zwischen Ringmitte und Gestirn zu korrigiren um

$$\varDelta\,\delta - \mathrm{D} = \frac{\mu^2}{\delta - \mathrm{D}} \cdot \frac{\varDelta\,\alpha}{15},$$

wo $\mu = 15\,\mathrm{T}\cos\delta$, T das Mittel der Durchgangszeiten und $\varDelta\,\alpha$ die Zunahme der Rektascension des Gestirns in einer Zeitsekunde ist. Der Durchgang durch den Stundenkreis der Ringmitte ist zu korrigiren um

$$\varDelta\,\alpha = + \frac{\varDelta\,\delta}{15\cos\delta^2},$$

wo $\varDelta\,\delta$ die Zunahme der Deklination in einer Zeitsekunde bedeutet.

Bezüglich der eventuell anzubringenden Korrektion für Krümmung der Bahn der Gestirne und des Einflusses der Refraktion muss ich, da diese Verbesserungen nicht mehr mit dem Wesen des Mikrometers direkt zusammenhängen, auf die betreffenden Angaben in den Lehrbüchern der sphärischen Astronomie verweisen.

Argelander hat bei der Durchmusterung des nördlichen gestirnten Himmels eine Art Mikrometer benutzt, welches darin bestand, dass er in der Brennebene des 6″ Kometensuchers, mit welchem die Durchmusterung ausgeführt wurde, eine halbkreisförmige, planparallele Glasplatte anbrachte, deren eine einen Durchmesser des Gesichtsfeldes bildende Kante rechtwinklig zur täglichen Bewegung der Sterne stand, also einen Theil eines Stundenkreises ausmachte. Senkrecht zu diesem Durchmesser waren von 10′ zu 10′ Deklinationsdifferenz auf der Glasplatte starke Linien gezogen, die auch noch im unbeleuchteten Gesichtsfelde sichtbar waren. Die Rektascensionsdifferenzen der Gestirne konnten nun aus den Durchgängen durch die leicht sichtbare Kante und die Deklinationsdifferenz durch Schätzung des Abstandes des Sternes von den erwähnten Linien gefunden werden, wie leicht einzusehen. Die zu erlangende Genauigkeit betrug etwa 1^s in Rektascension und 1′ in Deklination; sie genügte aber vollkommen für den Zweck, welchen man erreichen wollte.

Ein ganz ähnliches Mikrometer benutzte Bond in Cambridge und Peters in Clinton,[1]) ebenfalls zur Bestimmung genäherter Orte von Gestirnen bis etwa zur 14. Grössenklasse herab.

Hierher gehören auch die sogenannten Mappirungsapparate, welche aber

---

[1]) Peters hat seine Arbeit, welche die Sterne zwischen $\pm$ 30° Deklination umfassen sollte, in einer grossen Zahl höchst werthvoller Karten niedergelegt. Die Arbeit führte bekanntlich zur Entdeckung einer Menge kleiner Planeten.

nur sehr beschränkte Anwendung gefunden haben und ausser von ihren Erfindern wohl kaum weiter benutzt worden sind, z. B. die Apparate von LITTROW und von WOLF in Paris.

Zu den Mikrometern mit feststehendem Messapparat im Fokus des Objektivs, welche bei ruhendem Fernrohre angewendet werden, gehören natürlich auch alle Fadennetze in den Durchgangsinstrumenten, da dort durch dieselben wenigstens die Rektascensionsdifferenz zweier Gestirne aus deren Durchgängen durch die Fäden unmittelbar gefunden werden könnte. Meist ist aber auch dort von einem beweglichen Faden oder gar von zwei Systemen solcher, einem im Sinne der Rektascension und einem in Deklination, Anwendung gemacht, so dass diese Einrichtungen vollständige Mikrometer sind, die sich von den an Refraktoren gebräuchlichen nur durch das Fehlen eines Positionskreises und dadurch unterscheiden, dass ihre Fadensysteme immer in vertikaler resp. horizontaler Richtung verbleiben.

Einfache Liniensysteme als Mittel zur Messung (oder eigentlich nur Schätzung) von kleinen Winkeln haben schon ZAHN[1]) im Jahre 1685 und später TOBIAS MAYER[2]) und BRANDER[3]) benutzt. MAYER hat die Linien dadurch hergestellt, dass er eine Glasplatte mit Tusche überzog und nach der Trocknung mit einer feinen Spitze die Tusche bis auf ein feines, schwarzes Liniennetz weg wischte,[4]) während BRANDER mit grosser Präcision mittelst eines Diamanten die Linien einschnitt.

2. Mikrometer mit beweglicher Messvorrichtung.

A. Schraubenmikrometer.

Dieses Mikrometer, welches auch wohl als Filarschraubenmikrometer bezeichnet wird, besteht in seiner einfachsten Einrichtung aus denselben Theilen in ganz ähnlicher Anordnung, wie diejenige, welche wir bei den Ablesemikroskopen als messende Einrichtung angetroffen und dort näher beschrieben haben. Die erste Benutzung solcher Apparate dürfte wohl schon von O. RÖMER zu Anfang des 17. Jahrhunderts erfolgt sein. Der direkte Vorgänger desselben war die erste überhaupt mit einem Fernrohr verbundene mikrometrische Einrichtung von GASCOIGNE,[5]) von welcher Dr. GILL in der „Encyclopaedia Britannica" das Folgende berichtet: „Es unterliegt keinem Zweifel, dass WILHELM GASCOIGNE aus Yorkshire der Erfinder des ersten Mikrometers ist. Als sein Freund CRABTREE eine Reise nach Yorkshire unternahm, schrieb er an seinen Freund HORROCKS: „The first thing Mr. Gascoigne showed me, was a large telescope amplified and adorned with inventions of his own, whereby he can take the diameters of the sun and moon, or any small angle in the heavens or upon the earth, most exactly through the glass, to a second." Dieses Mikrometer kam in den Besitz von

[1]) Zahn, Oculus artificialis teledioptricus, Würzburg 1685, Fundament III, Kap. 2 § 1.

[2]) Tob. Mayer, Kosmograph. Nachrichten und Sammlungen, 1750 — Kästner, Astron. Abhandl. II. Sammlung, S. 273.

[3]) Brander, Polymetroscopium dioptricum, Augsburg 1764 — Lambert, Anmerkungen über die Brander'schen Mikrometer von Glas und deren Gebrauch, Augsburg 1769.

[4]) Ein solches Gitter befindet sich heute noch auf der Göttinger Sternwarte.

[5]) Vergl. Delambre, Hist. de l'Astr. moderne, Bd. 2, S. 590.

Richard Townley in Lancashire, welcher es in der Sitzung der Royal Society am 25. Juli 1667 vorzeigte".

Das Gascoigne'sche Mikrometer bestand darin, dass im Gesichtsfeld des Fernrohrs vermittelst zweier Schrauben zwei schlittenähnliche Muttern unabhängig von einander bewegt wurden, welche senkrecht zur Bewegungsrichtung je eine schmale Schiene trugen, deren einander gegenüber stehende Kanten genau gerade abgeschliffen waren und sich in bestimmten Stellungen der Schrauben in einer geraden Linie berührten; wurden diese Stellungen der Schrauben an deren getheilten Trommeln abgelesen, und sodann die beiden Kanten auf die zu messenden Gestirne gestellt, so konnte man aus den neuen Ablesungen der Trommeln entnehmen, wieviel Ganze und Theile von Revolutionen der Schrauben die Gestirne sich auseinander befanden. Nach Kenntniss der Höhe eines Schraubenganges im Bogenmaass konnte die Entfernung der Gestirne ebenfalls in solchem ausgedrückt werden.[1])

Später haben Auzout und Picard das Mikrometer von Gascoigne auch benutzt,[2]) aber mit der Verbesserung, dass sie an die Stelle der Lamellen, von denen je eine auf die beiden Objekte eingestellt wird, Fäden setzten, welche in der Weise, wie es die Skizze 528 zeigt, angebracht waren.

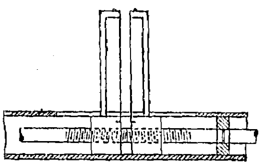


Fig. 528.

Die Konstruktion der neueren Fadenmikrometer ist etwa folgende. Eine Anzahl Fäden sind auf eine gut eben geschliffene Messingplatte parallel zu einander aufgespannt, wie bei den gewöhnlichen Fadennetzen im Fokus der Fernrohre. Die Richtung dieser Fäden muss der Lage der Stundenkreise am Himmel entsprechen. Ist dieses der Fall, so wird, wenn man zwei Sterne durch dieses Netz bei ruhendem Fernrohr hindurch gehen lässt, der Zeitunterschied zwischen den einzelnen Antritten an die Fäden ohne Weiteres der RA-Differenz beider Sterne gleich sein; man benutzt natürlich, um die Genauigkeit zu erhöhen, mehrere Fäden, wenn auch einer schon genügen würde. Senkrecht zu diesen Fäden sind auf derselben Platte noch 2 — 3 ebensolche Fäden aufgespannt. Ausserdem bewegt sich dicht über der sogenannten festen Fadenplatte vermittelst einer Mikrometerschraube ein Rahmen, auf welchem auf der der festen Fadenplatte zugekehrten Seite ebenfalls ein oder auch wohl mehrere parallele Fäden angebracht sind. Die beiden Systeme von Fäden müssen so dicht übereinander liegen, dass der Beobachter bei den dem Gebrauche des Instrumentes entsprechenden Vergrösserungen keine merkliche Parallaxe wahrnehmen kann; aber trotzdem muss bei Bewegung des beweglichen Fadenrahmens durch die Mikrometerschraube keine gegenseitige Störung des einen der Fadensysteme durch das andere vorkommen, sondern

[1]) Eine andere Form gab man diesem Mikrometer dadurch, dass man die Schraubenmuttern mit ihren Schienen sich auf derselben Schraubenspindel bewegen liess, welche aber zweierlei Gewinde besass, von denen das eine die doppelte Ganghöhe oder die entgegengesetzte Richtung des anderen hatte; durch letztere Anordnung erlangte man eine symmetrische Bewegung der Messapparate.

[2]) Auzout, Traité du micromètre, au manière exacte pour prendre le diamètre des planètes et la distance entre les petits étoiles, Paris, 1667.

die Fäden müssen vollkommen frei und sicher übereinander hin- und hergeführt werden können. Die beweglichen Fäden werden dann bei richtiger Orientirung so zu stellen sein, dass die Sterne bei ihrem Durchgang durch das Gesichtsfeld vermöge der täglichen Bewegung genau an diesen Fäden entlang laufen, oder vielmehr, wenn dieses der Fall ist — denn so orientirt man thatsächlich ein solches Mikrometer — müssen die festen Fäden Theile von Stundenkreisen darstellen. Die festen Horizontalfäden, wie man die ersteren nennt, müssen ausserdem den beweglichen genau parallel sein. Zur Erfüllung aller dieser Bedingungen ist ein solches Mikrometer mit entsprechenden Korrektionsschrauben versehen, welche je nach dem Verfertiger des Mikrometers verschieden angeordnet sind. Stellt man nun ein parallaktisch aufgestelltes Fernrohr beim Durchgang zweier Sterne, deren gegenseitige Lage bestimmt werden soll, so, dass das vorausgehende Gestirn auf einem festen Horizontalfaden entlang läuft, und dann weiterhin einen beweglichen Faden mit Hülfe der Mikrometerschraube auf den folgenden Stern, so wird die Entfernung der beiden Fäden der Deklinationsdifferenz derselben entsprechen. Misst man mit der Schraube diese Entfernung, indem man die Stellung der Trommel sowohl bei der Einstellung auf den nachfolgenden Stern abliest, als auch dann, wenn der betreffende bewegliche Faden mit dem in Betracht kommenden festen koincidirt (Messung dieser Koincidenz mittelst Lichtlinien), so hat man nach Verwandlung der ganzen Schraubenumgänge und Trommeltheile in Minuten und Sekunden den gewünschten Deklinationsunterschied.

Man findet also mit einem solchen Mikrometer die Rektascensionsdifferenz und Deklinationsdifferenz zweier Gestirne unmittelbar, abgesehen von kleinen Korrektionen, welche an die direkten Beobachtungsdaten noch wegen der Wirkung von Refraktion, Parallaxe, Aufstellungsfehler des Instrumentes u. s. w. anzubringen sein werden.

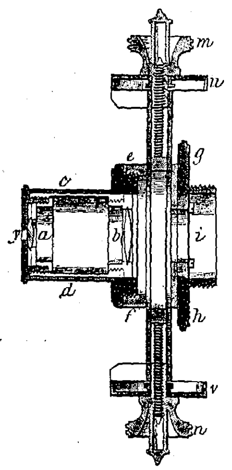
Meist ist das Fadenmikrometer so eingerichtet, dass es auf einen besonderen Stutzen des Okularkopfes aufgesetzt ist, und sich um die mit der optischen Axe parallele resp. zusammenfallende Axe desselben drehen lässt. Wenn diese Drehung vermittelst eines entweder am beweglichen oder am relativ festen Theile des gesammten Okularkopfes befestigten Kreises gemessen werden kann, so nennt man das Mikrometer ein Positionsmikrometer, weil man mit einem solchen nicht nur in der Lage ist, direkt Deklinations- und Rektascensionsdifferenzen zu messen, sondern auch die Entfernung zwischen beiden Gestirnen selbst, sowie den Winkel, welchen ihre Verbindungslinie (Theil eines grössten Kreises) mit dem durch den einen oder anderen Stern oder auch durch die Mitte der Verbindungslinie gehenden Stundenkreise macht, den sogenannten Positionswinkel.[1]) Diese Messungen erfolgen dann im Allgemeinen in der Weise, dass man den einen Faden (den mittelsten) des Systems der festen Fäden durch Drehung des ganzen Mikro-

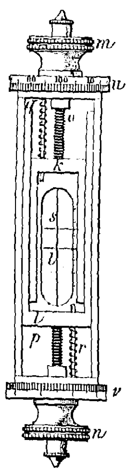
[1]) Für kleine, einige Minuten nicht übersteigende Distanzen, wie sie gewöhnlich mit den Positionsmikrometern gemessen werden, sind die hier der Genauigkeit wegen unterschiedenen drei Winkel als gleich anzunehmen, wenn die Gestirne nicht nahe den Polen liegen.

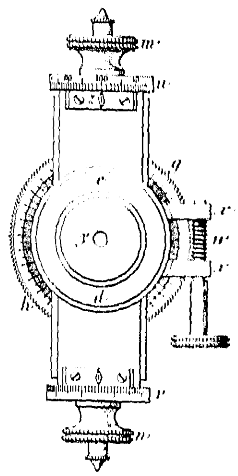
meters so stellt, dass er beide Sterne bisecirt und gleichzeitig ein dazu senkrecht stehender Faden ebenfalls durch den einen Stern hindurchgeht. Wenn man dann den beweglichen Faden auf den zweiten Stern bringt, so wird die wie oben mit der Schraube zu messende Entfernung der beiden letzten Fäden die Distanz der Sterne angeben, während man am Positionskreise die Richtung dieser Distanz ablesen kann und sofort den gewünschten Positionswinkel erhält, wenn der Kreis so eingerichtet ist, dass man an demselben 90^{0} abliest, wenn die beweglichen Fäden mit der Richtung der Bewegung der Sterne an dem betreffenden Orte des Himmels zusammenfallen (Orientirung nach dem scheinbaren Parallel).

a. Troughton's Fadenmikrometer.

Zu genauen Messungen brauchbare Mikrometer dieser Art lieferte schon zu Ende des vorigen Jahrhunderts z. B. der englische Mechaniker Troughton. Ein Mikrometer aus dieser Werkstätte zeigen die Fig. 529.[1]) Fig. 529a ist ein Querschnitt parallel zur Axe des Fernrohrs. Die Linsen a und b bilden


Fig. 529 a.


Fig. 529 b.


Fig. 529 c.

ein Ramsden'sches Okular, welches sich in dem Rohre c d verschieben lässt; dieses ist an den Mikrometerkasten mittelst des Ansatzes e f angeschraubt. In dem Mikrometerkasten, Fig. 529b, sind die beiden Gabeln k und l mittelst der Mikrometerschrauben o und p beweglich. Diese Bewegung erfolgt durch die Muttern m und n, welche mit den getheilten Trommeln u und v versehen sind; die ebenen Flächen derselben stützen sich auf die schmalen Seiten des Kastens. Dem Zuge der Schrauben wirken die Federn q und r entgegen. Auf den Gabeln, deren Oberflächen fast genau in einer Ebene liegen, sind die beiden Fäden s und t aufgespannt, während ein dritter Faden senkrecht zu diesen und parallel den Schraubenaxen das Diaphragma überspannt. Der ganze Kasten ist auf einem Ansatze i montirt, welcher einen Positionskreis g h trägt, Fig. 529c, dessen Rand gezähnt ist, sodass um sein Centrum mittelst

[1]) Gill, Encyclopaedia Britannica, Theil 62, S. 243 u. 244.

der in den Lagern xx rotirenden Schraube w der ganze Mikrometerkopf gedreht werden kann. Man kann also mit diesem Mikrometer die beiden Fäden s und t jeden für sich auf ein Gestirn einstellen, dadurch lässt sich eine Distanzmessung oder eine Deklinationsdifferenz an den verschiedensten Stellen der Schrauben ausführen. Freilich ist die Verwendung zweier zum Messen dienenden Schrauben eine nach den neueren Anschauungen unnöthige Komplikation. In England und Frankreich wird diese Form des Mikrometers noch heute vielfach angewandt, allerdings mit erheblich verbesserter Schraubenführung, wie sie z. B. in den Fig. 530 in verschiedener Ausführung dargestellt werden. Die ersteren beiden Einrichtungen vermeiden das Aufliegen planer Flächen; in Fig. 530 b u. c ist besondere Vorsorge gegen das Auftreten des sogenannten todten Ganges getroffen.[1])

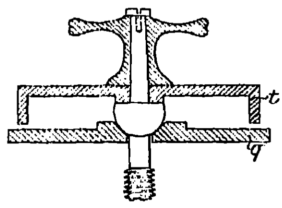


Fig. 530 a.

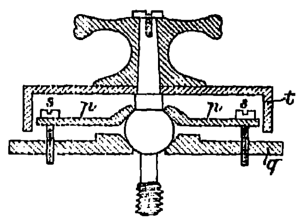


Fig. 530 b.

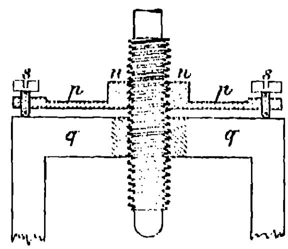


Fig. 530 c.

b. Das Fraunhofer'sche Schraubenmikrometer.

In ein neues Stadium trat die Herstellung der Fadenmikrometer durch die von Fraunhofer demselben gegebene Form, welche heute noch an vielen älteren Instrumenten im Gebrauch befindlich ist.

Carl beschreibt ein solches Mikrometer in ausführlicher Weise[2]) an der Hand mehrerer Abbildungen. Da nach der Fraunhofer'schen Anordnung auch die Beleuchtungseinrichtung für die Fäden eng mit dem Mikrometer zusammenhängt, unterscheidet er drei Theile desselben, nämlich die Schiebereinrichtung, den Positionskreis und die Beleuchtungsvorrichtung. Die Schiebereinrichtung wird gebildet aus zwei über einander befindlichen Schlitten C C und D, Fig. 531, welche in dem Rahmen A B beweglich sind. Jeder derselben trägt einen Faden, von denen der eine durch eine besondere Vorrichtung dem andern parallel gestellt werden kann.[3]) Der Grund, weshalb beide Fäden beweglich eingerichtet sind, besteht darin, dass man auf diese Weise die früher sehr beliebte Repetition der Messungen vornehmen konnte, andererseits wird dadurch aber auch, wie heute noch üblich, der

[1]) Vergl. das Kapitel über das Ablesemikroskop.

[2]) Carl, Principien d. astron. Instrkde., S. 107.

[3]) Bei den älteren Mikrometern dieser Art, z. B. dem dem Dorpater Refraktor beigegebenen (vergl. Beschreibung des Dorpater Refraktors von W. Struve), waren nur zwei parallele Fäden vorhanden, während der senkrecht dazu in der Richtung der Schraubenaxe liegende fehlte. Es wurde also zunächst mittelst des festen Fadens die Richtung der Verbindungslinie der Gestirne am Positionskreis bestimmt und dann zur Messung der Distanz das Mikrometer um 90° gedreht.

Koincidenzpunkt beider Fäden in Bezug zur messenden Schraube verändert und damit der Einfluss etwaiger Fehler der letzteren verringert. Die Bewegung des Hauptschiebers CC geschieht mittelst der feinen in der mit dem Rahmen der Grundplatte AB fest verbundenen Mutter E beweglichen Mikrometerschraube F, welche mit ihrem einen sphärisch abgerundeten Ende gegen eine am Schieber befestigte plane Glasplatte anliegt, während das andere Ende die getheilte Trommel G mit dem randirten Kopfe H trägt. Damit die Schraube F auch bei ihrer Rückwärtsbewegung den Schieber wieder mitnimmt, ist über die Enden desselben der Steg qq geschraubt, an welchen sich die Flansch cc, Fig. 532, der Schraube anlegt. Da durch diesen Steg

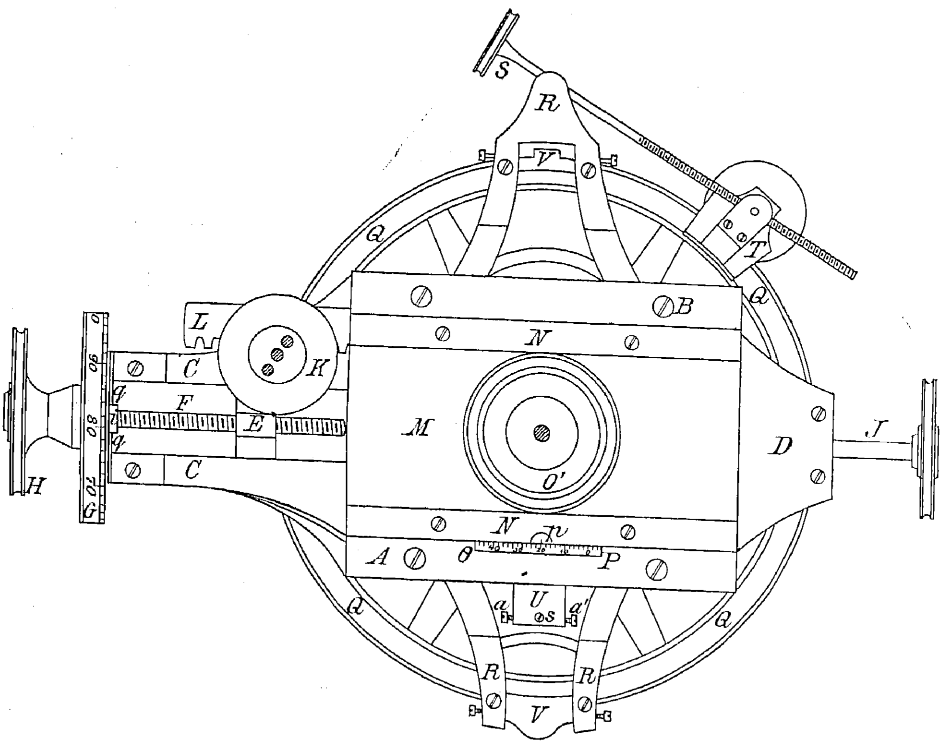


Fig. 531.
(Nach Carl, Principien d. astron. Instrkde.)

und das Widerlager die Schraube gesichert wird, wird sie bei ihrer Bewegung in der Mutter E den Schieber mit vor- und zurücknehmen. Der bei dieser Einrichtung nicht zu vermeidende todte Gang muss dadurch unschädlich gemacht werden, dass man die Schraube bei Bestimmung des Koincidenzpunktes und bei der Distanzmessung im gleichen Sinne bewegt. Da die Lagerung der sphärischen Endfläche auf der Platte die sicherere ist, ist es zweckmässig, die Schraube nur mit Druck auf dieser zu benutzen. Die ganzen Umdrehungen der Schraube werden an der Skala OP mittelst des Index p abgelesen, während der Index i die Bruchtheile einer Revolution an der Trommeltheilung angiebt. Um die Nullpunkte beider Theilungen in

Übereinstimmung zu bringen, ist die Trommel auf dem konischen Ansatze der Schrauben drehbar.[1]) Die Schieberbewegung erfolgt hier sowohl als auch bei dem Schieber D, welcher der Repetitionsschieber genannt werden kann, in schwalbenschwanzförmigen durch aufgeschraubte Leisten gebildeten Führungen. Die Schraube J, welche den Schieber D bewegt, hat für den Hals der Schraube z, welche ihre Mutter im unteren Theile der Grundplatte AB hat, bei h ihre Führung; diese bewirkt, dass mittelst der Schraube J der Rahmen D auf der Grundplatte hin und her bewegt werden kann. Bei später ausgeführten Mikrometern dieser Art hat die Schraube J ebenfalls einen etwa in zehn Theile getheilten Kopf, so dass man durch dieselbe

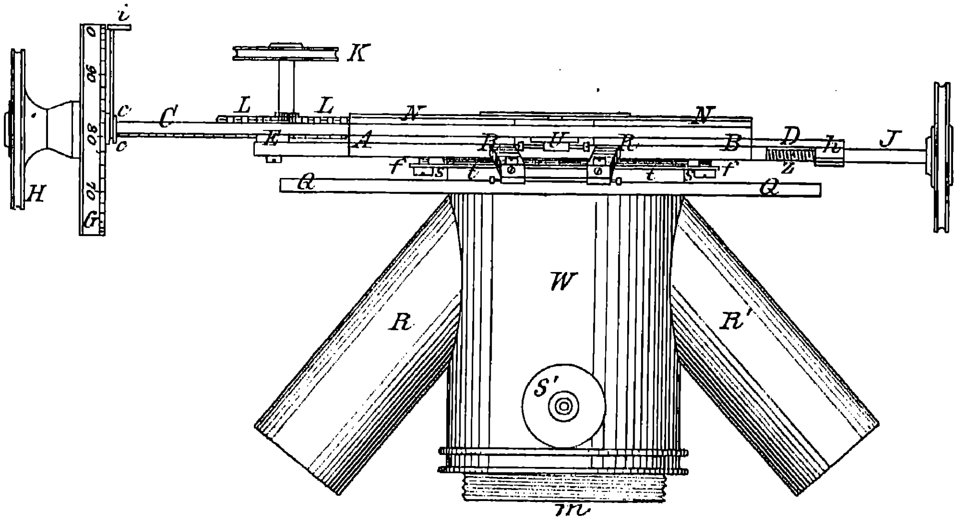


Fig. 532.
(Nach Carl, Principien d. astron. Instrkde.)

den Koincidenzpunkt also messbar verlegen kann. Da die Schieber direkt über einander gleiten, sind die beiden Fäden in feine Einschnitte gelegt, so dass sie ohne sich zu berühren über einander weg gehen können. Zur Herstellung der parallelen Lage der Fäden ist in den Repetitionsschieber SS, Fig. 533, ein ringförmiger Rahmen r r eingesetzt, welcher den Faden f trägt. Der Schieber selbst hat einen Ansatz U, welcher durch eine Öffnung aus der Grundplatte AB, wie in Fig. 531 ersichtlich, herausragt; durch diesen Ansatz geht die Schraube s. Auch der ringförmige Rahmen r r trägt einen Arm A, Fig. 534, welcher unter dem Ansatze U herausgeht und an seinem Ende ein viereckiges Loch hat, durch das die in U befestigte Schraube s hindurchgeht. Gegen diese Schraube s wirken zwei andere Schräubchen a und a', durch welche also eine kleine Drehung des Ringes r r und somit auch des Fadens f hervorgebracht werden kann.

Über dem Schieber C liegt eine dritte Platte M, welche die Hülse für das Okular O trägt und den Zweck hat, dasselbe so zu verschieben, dass die beiden Fäden resp. die beobachteten Sterne symmetrisch zur Mitte des

[1]) Vergl. darüber das Kapitel „Ablesemikroskop", S. 138.

Gesichtsfeldes zu liegen kommen. Dieser Schieber M wird geführt durch die beiden Leisten N N, welche auf dem Schieber C C befestigt sind. Die Schieber M und C werden durch die Schraube F gleichzeitig bewegt. Die Bewegung des Okularschiebers M kann auch durch die gezahnte mit ihm verbundene Messingstange L, welche in das Trieb K eingreift, für sich bewirkt werden. Als zweiter Hauptheil des Mikrometers kommt der Positionskreis Q Q hinzu. Dieser ist auf einem an dem Okularende des Fernrohrs aufgeschraubten Rohre t t, Fig. 532, befestigt und trägt an seiner Vorderfläche auf einem eingelassenen Silberstreifen eine Kreistheilung, welche mittelst der zwischen Spitzen beweglichen Nonien V V bis auf Bogenminuten abgelesen werden kann. Die Arme R R, zwischen welchen die Nonien befestigt sind, stehen mit der Grundplatte des Mikrometers in fester Verbindung, so dass also durch sie die Drehung der Fäden gegenüber dem Nullpunkte des Kreises gemessen werden kann. An dem einen dieser Arme ist zugleich mittelst

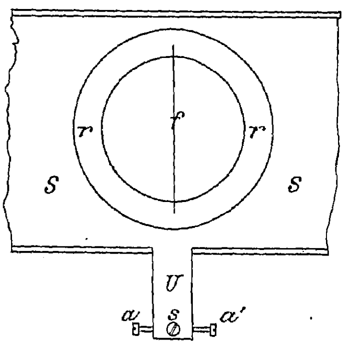


Fig. 533.

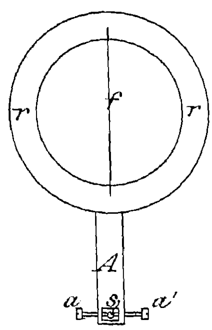


Fig. 534.

eines Kugelgelenkes die Sehnenschraube S, Fig. 531, in der üblichen Weise angebracht. Ihr Gewinde geht durch die Kugelmutter in der Kreisklemme T. Ist letztere gelöst, kann eine freie Drehung des Mikrometerkastens über dem Positionskreis erfolgen; ist sie geklemmt, wird durch die Schraube S Feinstellung bewirkt. Der Kreis ist meist so gestellt, dass der Durchmesser 0^0 bis 180^0 nahezu mit dem Stundenkreise zusammenfällt. Die Verbindung des Mikrometer-Obertheiles mit dem Rohre t t ist hergestellt durch einen auf dasselbe aufgeschraubten schmalen Ring, hinter welchem der Federring f f, Fig. 532, liegt. Dieser ist mittelst kleiner Schrauben s s, mit der Mikrometergrundplatte A B verschraubt, so dass er sich um den Rohransatz t t mit einiger Reibung frei bewegen kann. Die Verbindung mit dem Fernrohre wird mittelst der Schraube m m hergestellt. Das Rohr b b, Fig. 535, hat bei f f einen festen und einen abschraubbaren Ring (den oberen), ausserdem ist es an mehreren Stellen von den Öffnungen c c c c durchbrochen. Um dasselbe herum ist der Ring a a drehbar gelegt, und dieser bringt den dritten Theil des Mikrometers, die Beleuchtungseinrichtung, mit den anderen in Verbindung. Der Ring a a trägt nämlich die beiden Röhrchen R R′, welche gegen die optische Axe des Fernrohrs so geneigt sind, dass Licht, welches durch sie und die Öffnungen c c in das Fernrohr gelangt, nur auf die Fäden,

nicht aber in das Okular kommen kann. Der Ring aa und mit ihm die Röhrchen RR′ können so gedreht werden, dass die in letztere eingeführten Lampen stets eine senkrechte Stellung erhalten. Die Lampen, welche

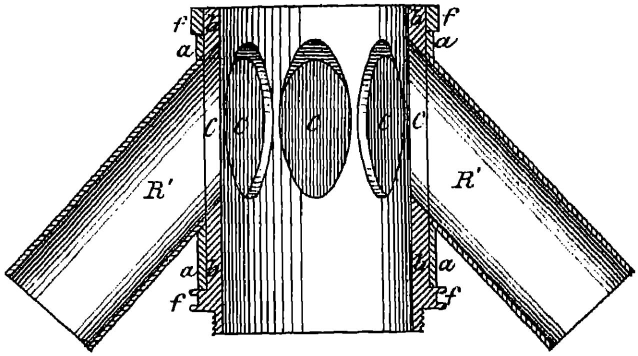


Fig. 535.
(Nach Carl, Principien d. astron. Instrkde.)

Fraunhofer seinen Mikrometern beigab, wurden stets paarweise verwandt und zwar so, dass die Röhrchen RR′ in einer zu den Fäden senkrechten

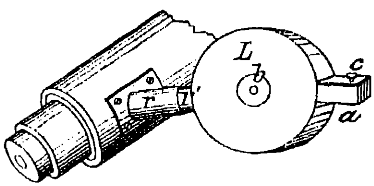


Fig. 536.

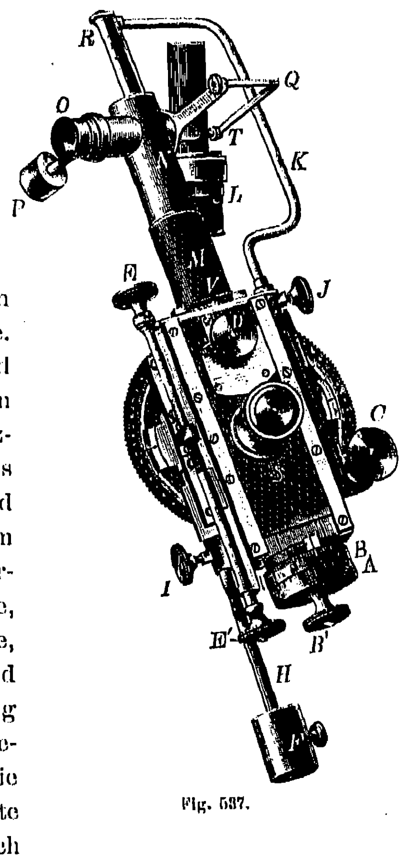


Fig. 537.

Ebene lagen und somit eine von beiden Seiten kommende Beleuchtung jener erzielt wurde. Die Form der Fraunhofer'schen Lampen und ihre Verbindung mit dem Fernrohr ist in Fig. 536 dargestellt. Dieselben sind jetzt gänzlich ausser Gebrauch. In a befindet sich das Ölgefäss, welches einmal um die Axe b und sodann mit der ganzen Lampe zugleich im Rohre r gedreht werden kann; dadurch verbleibt die Lampe selbst an derselben Stelle, und ihr Licht wird durch eine Kollektivlinse, die im Rohre r′ befestigt ist, gesammelt und auf die Fäden geworfen. Eine Veränderung der Lichtstärke konnte durch zwischengeschobene Diaphragmen erreicht werden. Die jeweils richtige Stellung der Lampen musste aber durch die Hand bewirkt werden. Durch eine veränderte Neigung der Seitenrohre kann auch statt der hellen Fäden das Gesichtsfeld erleuchtet werden, so dass die Fäden dunkel erscheinen.

Diese Form des Mikrometers hat für alle späteren Fadenmikrometer (Positionsmikrometer), wenn sie auch heute in scheinbar ganz anderer Form gebaut werden, die Grundlage abgegeben.

c. Die Mikrometer von Clark und von Secrétan.

Die Clark'schen Mikrometer sind denjenigen ähnlich, wie sie Steinheil und namentlich auch die Engländer, sowie auch Secrétan, Brunner und Eichens zu bauen pflegen. Fig. 537 stellt das Mikrometer, welches Clark für den Zwölfzöller des Lick Observatory gebaut hat, dar,[1]) während Fig. 538 ein solches von Secrétan zeigt. Das erstere ist am angegebenen Orte etwa folgendermaassen beschrieben:

B ist die getheilte Trommel der Mikrometerschraube und A eine eben solche, welche sich auf der Schraubenspindel frei bewegt und durch eine

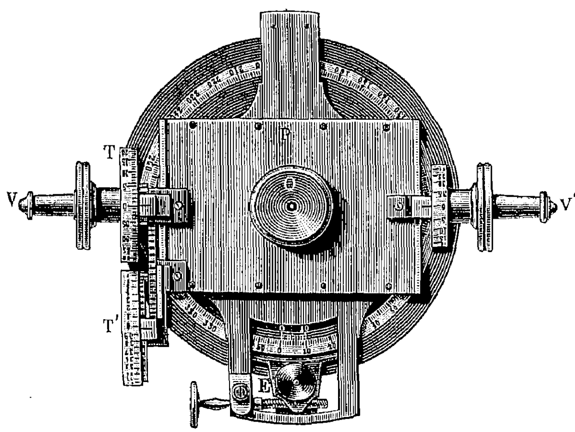


Fig. 538.
(Aus Konkoly, Anleitung.)

Übertragung die vollen Umdrehungen giebt. C ist ein Trieb, welches in den gezähnten Rand des Positionskreises eingreift und den Mikrometerkasten auf diesem um die Axe des Fernrohrs dreht. Eine besondere Klemmung zwischen Mikrometerkasten und Positionskreis ist, wie das mehrfach bei englischen und amerikanischen Instrumenten der Fall ist, nicht vorhanden.[2]) D ist der Kopf eines Triebes, welches mittelst Zahnstange den Okularschlitten S über der Fadenplatte bewegt. E E' sind die beiden Handhaben einer Schraube, welche den ganzen Mikrometerkasten in einer zu den Mikrometerschrauben parallelen und zu den Fäden rechtwinkligen Richtung bewegt. Durch sie wird ein Faden des festen Systems auf einen der zu beobachtenden Gestirne gebracht, nachdem mittelst C der zur Schraubenaxe

[1]) Mit demselben hat Burnham den grössten Theil seiner Doppelsternbeobachtungen gemacht („Publ. of the Lick Observ.", Bd. I, S. 63 ff.).

[2]) Diese Art der Bewegung wird nie besonders sanft und sicher auszuführen sein, sie steht derjenigen mittelst Tangenten- oder Sehnenschraube unbedingt nach, wenn sie in ihrer Ausführung auch erheblich einfacher sein dürfte.

parallele Faden durch beide Gestirne gelegt ist. Die Art, wie die Fäden befestigt sind, ist ganz die gewöhnlich gebräuchliche. Die Beleuchtung von Gesichtsfeld und Fäden geschieht durch die Lampe L, deren Licht mittelst eines in N befindlichen Spiegels reflektirt wird und durch das Rohr M und eine Durchbohrung des Mikrometerkastens auf die Fäden gelangt. Eine in N befindliche Kollektivlinse sammelt das Licht und wirft es auf einen kleinen Reflektor, welcher sich an der Seite der Schraubentrommel befindet; von diesem aus sowohl, als auch von dem direkten Licht, werden die Fäden symmetrisch beleuchtet. Die Lampe L ist so angebracht, dass die Flamme in der Axe OT sich befindet, während die Arme TQ und KR so angeordnet sind, dass sich die Lampe mit Hülfe des Gegengewichtes P stets senkrecht einstellen kann. Bei V kann ein Diaphragma mit gefärbten Gläsern zur Moderirung der Lichtstärke eingeführt werden. Der Arm K ist mittelst der Schraube J so befestigt, dass er den durch die Bewegungsschraube EE bewegten Theil des Mikrometers nicht belastet. Diese Art des Mikrometers scheint sich, wie die gewonnenen Resultate zeigen, recht gut bewährt zu haben, wenn sie auch den höchsten Anforderungen bezüglich exakter Ausführung nicht gerade genügt.

Das Secrétan'sche Mikrometer ist nicht erheblich verschieden von den früher beschriebenen. Auf dem Positionskreis, welcher auf dem Okularauszug festgeschraubt ist, ist der Mikrometerkasten P, in dessen Mitte sich das seitlich nicht verschiebbare Okular befindet, so aufgesetzt, dass er sich um den Mittelpunkt des Positionskreises, also um die optische Axe drehen kann. Links ist der Kopf der Mikrometerschaube V, welche die Trommel T trägt; die ganzen Umdrehungen derselben werden mittelst einer Zahnradübertragung durch die Trommel T′ und des ihr zugehörenden Index angegeben. Die Schraube V′ dient zur Bewegung der Platte der festen Fäden, also zur Veränderung der Koincidenzstellung. Durch die Klemme E nebst Sehnenschraube wird die Verbindung von Mikrometerkasten und Positionskreis hergestellt. Bei kleineren Mikrometern ist der Kreis wie in der Figur durch einen Vernier, bei grösseren durch zwei ablesbar.

d. Das Mikrometer von Ellery.

Ein ähnliches Mikrometer englischen Ursprunges zeigt Fig. 539. Es ist das von R. L. J. Ellery am Melbourner Reflektor benutzte.[1]) Die Schrauben sind ebenfalls in der Mittellinie angeordnet, aber es ist auch schon die gegenwärtig meist eingeführte Verschiebung des ganzen Mikrometerkastens durch eine zweite Schraube s_3 in Anwendung gekommen. Der Rahmen S′ wird durch die eigentliche Mikrometerschraube bei B in Bewegung gesetzt, er trägt drei Fäden, dagegen kann der Rahmen S″ mit den fünf „festen“ Fäden durch die Schraube K in Gegenwirkung zur Spirale c zur Änderung der Koincidenzstellung um ein kleines Stück bewegt werden. Die Führung des Mikrometerkastens wird sehr sicher durch die Schienen bb bewirkt. Das Okular ist auf besonderer, durch S_4 beweglicher Platte befestigt.

1) Vergl. Monthly Notices, Bd. XLIV, S. 286.

Die durch die elektrische Lampe L erzielte Beleuchtung kann sowohl die Fäden hell im dunklen Felde, als auch das Gesichtsfeld hell erscheinen lassen. Diesem Zwecke dienen die Spiegel bei m und m sowie die kleinen spiegelnden Flächen bei d d, zu denen durch die Öffnungen bei a a das Licht gelangen kann. Die Regulirung erfolgt durch die bei g g aus dem Rohr tretenden Griffe.

Auch die Beleuchtung der Schraubentrommel h wird durch den im Röhrchen t_2 befindlichen Spiegel ermöglicht. Durch einfache Übertragung giebt eine zweite Trommel, wie das jetzt meist üblich, die ganzen Revolutionen der Mikroskopschraube bei h_2 an.

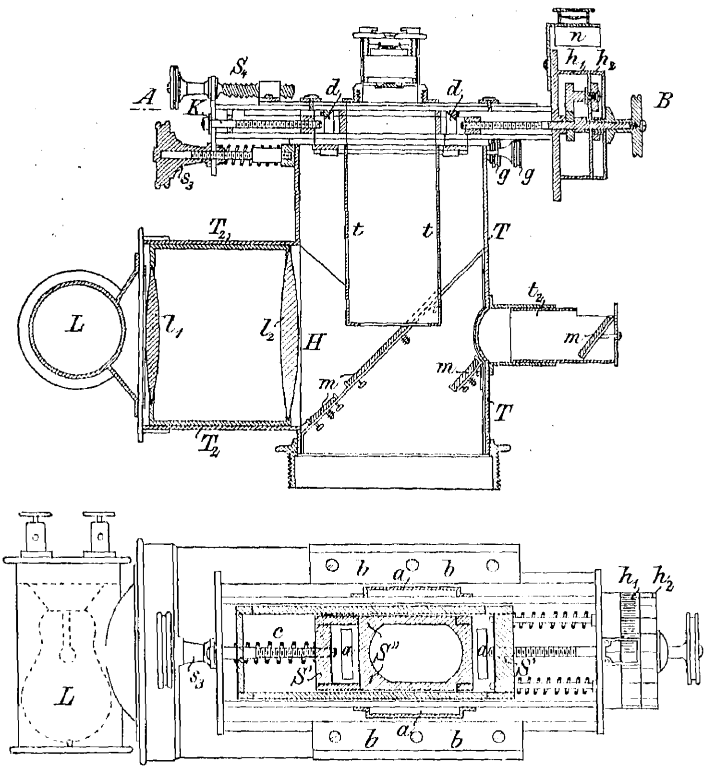


Fig. 539.
(Nach Monthly Notices, Bd. XLIV.)

c. Die Repsold'schen Mikrometer.

Die vollkommensten Fadenmikrometer hat in gleicher Weise zum Gebrauche an Äquatorealen wie an Durchgangsinstrumenten, letztere natürlich ohne Positionskreis, die Repsold'sche Werkstätte gebaut. Ihre Einrichtung dient heute den Mechanikern zu mehr oder weniger genau befolgtem Vorbilde. In Nachstehendem soll ein solches Mikrometer mittlerer Grösse, wie es für den Leipziger Refraktor gebaut wurde, beschrieben werden, und sodann diejenige Form, welche in neuster Zeit den für Durchgangsinstrumente bestimmten Mikrometern gegeben worden ist. Die Figuren 540 und 541 zeigen jenes Mikrometer in schematischer und perspektivischer Darstellung nach Abnahme

des Okulardeckels, während Fig. 542 ein ganz ähnliches in Vorderansicht veranschaulicht.[1])

Das Positionsmikrometer ist mit seiner Grundplatte an dem Okularauszug festgeschraubt; dieser selbst kann in der gewöhnlichen Weise sowohl in der Richtung der Axe, als auch um diese sich drehend, fein bewegt und durch Schrauben festgestellt werden. An der Grundplatte ist zunächst der gegen das Fernrohr unveränderliche Positionskreis (1) befestigt. Derselbe trägt

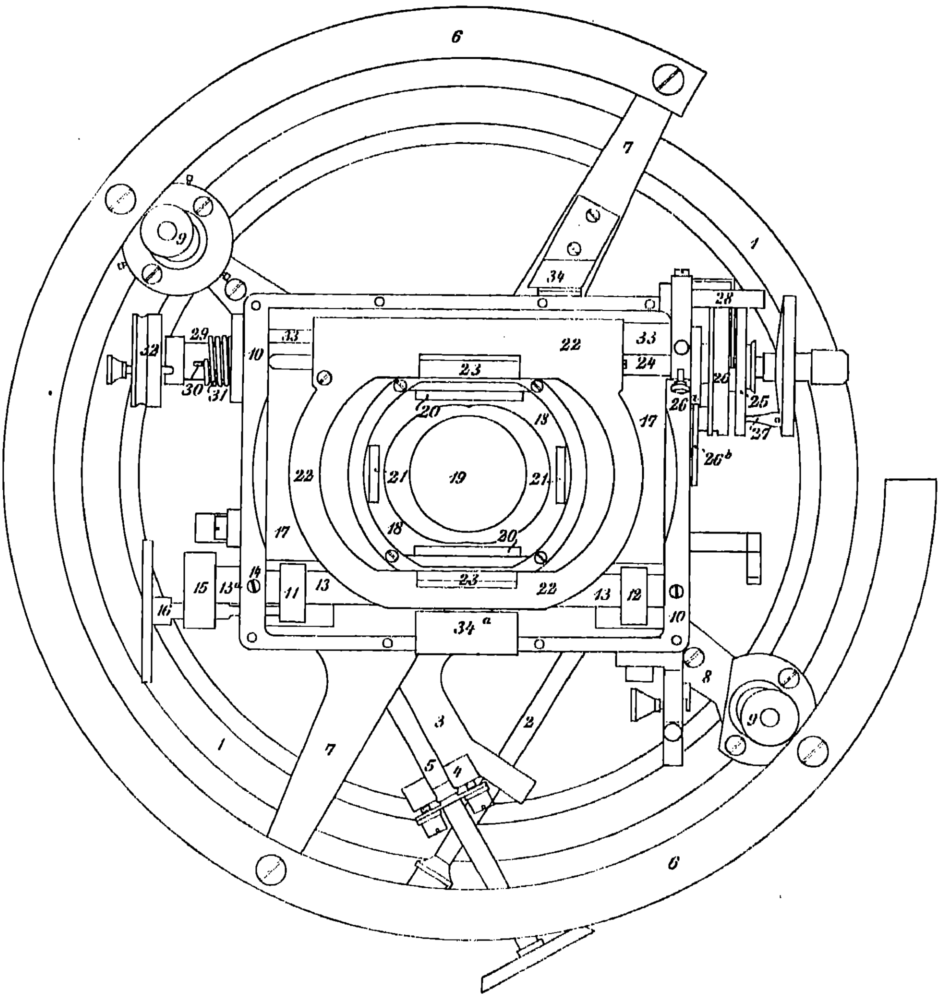


Fig. 540.

auf einem Silberstreifen die Theilung. Der nach vorn angesetzte Ansatz des mittleren Kreistheiles wird durch eine Ringklemme umfasst, die durch die Schraube (2) zusammengezogen werden kann. An diesem Klemmring ist der Arm (3) befestigt, welcher das Lager (4) der Schraube (5) trägt. Diese greift mit ihrem Gewinde in einen Zahnkranz des eigentlichen Mikrometer-

[1]) Bei den später zu beschreibenden Repsold'schen Äquatorealen werden einige andere Mikrometer dieser Firma noch zur Darstellung gelangen, vergl. Kapitel „Äquatoreale".

rohres ein und bewirkt nach Klemmung des Ringes die Feinbewegung in Position. Grosse Drehungen des Mikrometerkastens können nach Lösung der Schraube (2) mittelst des als Handhabe dienenden Ringes (6) leicht bewirkt werden. Dieser ist mittelst der Speichen (7) und (8) mit dem Mikrometerkasten verbunden, die beiden letzteren dienen zugleich zur Aufnahme der Mikrometerlupen, (9) für die Ablesung des Positionskreises.

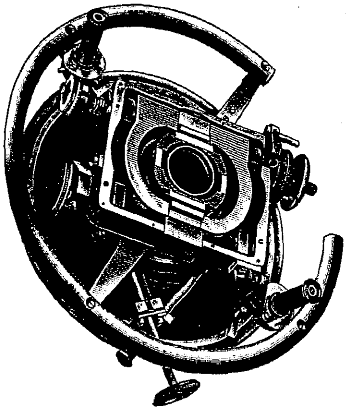


Fig. 541.

Mit den Speichen 7 und 8 in fester Verbindung steht eine Platte, welche die beiden Ansätze (11), (12) trägt, letztere ragen durch Aussparungen im Boden des Mikrometerkastens (10) in diesen hinein und nehmen in Durchbohrungen den Cylinder 13 auf, welcher darinnen in exakter Weise gleiten kann. Derselbe ist durch die Schraube (14) mit dem Kasten fest verbunden und ragt mit dem Ende (13a) über denselben hinaus, welches den Ansatz (15) trägt. In diesem hat wiederum die Schraube (16) ihr Muttergewinde, während sie durch die Wand des Mikrometerkastens frei hindurch gehend sich mit dem

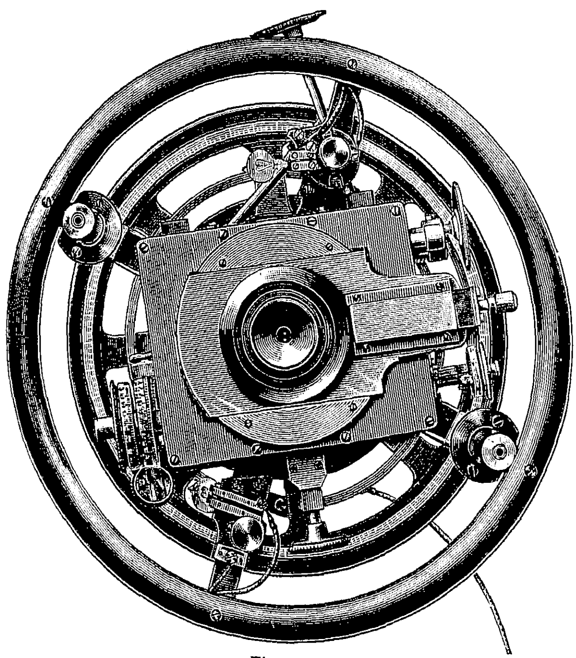


Fig. 542.

dünnen Ende auf den Ansatz (11) der Grundplatte stützt. Durch sie ist also eine Bewegung des ganzen Mikrometerkastens auf der Grundplatte, gegen welche der erstere mittelst einer starken Feder angedrückt wird, möglich.

Die untere Platte (17) des Mikrometerkastens trägt in ihrer Mitte einen ovalen Ring (18) mit so grosser Öffnung, dass auch bei starken Verschiebungen, die aus dem Auszugsrohre (19) kommenden Lichtstrahlen noch frei hindurch gehen können. Der Ring ist oben plan abgeschliffen und dient zur Aufnahme der sogenannten festen Fäden an den Facetten (20) und (21). Der an seiner einen Längskante mit einer nach unten gerichteten Verstärkung versehene Rahmen (22) trägt an den beiden Längsseiten die Facetten (23) für die beweglichen Fäden. Er ist oben plan geschliffen, so dass seine Ebene sehr nahe mit der von (18) zusammen fällt. Bewegt wird er durch die Mikrometerschraube (24), welche auf der rechten Seite den Kasten (10) frei durchsetzt und ausserhalb desselben die Zähltrommeln trägt und zwar (25) für die ganzen Umdrehungen und (26) für die Bruchtheile von solchen.[1]) Der Kopf der Schraube ist mit dieser Trommel durch die Schraube (27) verbunden, der Index (28) vermittelt unter Umständen mittelst eines Spiegels (vergl. Fig. 542) die Ablesung der Trommeln. Am anderen Ende ruht die Schraube auf der Stirnfläche eines Stahlcylinders, welcher in dem Cylinder (29) gelegen ist und durch Vermittlung des Dornes (30) und der Feder (31) in seiner Lage gesichert wird; eine Bewegung derselben kann durch eine Schraube mit getheilter Trommel (32) bewirkt werden, aber nur um einen Theil seiner Umdrehung, wie es für eine Veränderung der Messungsstellen der Schraube nöthig ist, um eventuell periodische Fehler derselben zu eliminiren. Diese Beschränkung wird durch den mit dem Cylinder (29) verbundenen Index bewirkt. Auf dem den Rahmen (22) gleichfalls durchsetzenden, cylindrischen Stifte (33) ist eine Spiralfeder aufgeschoben, welche in der gewöhnlichen Weise dem Fadenrahmen (22) die Rückwärtsbewegung ertheilt.

Diese von der Repsold'schen Werkstätte eingeführte Doppelbewegung wird jetzt bei allen ihren Mikrometern namentlich bei den hier beschriebenen Positionsmikrometern, sowie bei den Skalenmikroskopen der Heliometer angewendet. Die Führung des Mikrometerkastens wird durch den Cylinder (13) und durch die kleine Schiene (34) bewirkt, während die der Fadenplatte (22) durch den Cylinder (33) und die kleine Platte (bei 34a), sowie durch den Boden (17) des Mikrometerkastens (10) erfolgt. Gegen die letzteren beiden Theile stützt sich der betreffende Rahmen mittelst kleiner Stifte. Die obere Deckplatte trägt die Koulisse für den Okularschieber mit Okularansatz, Fig. 542; der erstere wird durch eine steile, mehrgängige Schraube in üblicher Weise bewegt.

Dem eben beschriebenen Positionsmikrometer ganz analog sind auch die Repsold'schen Mikrometer für die Durchgangsinstrumente gebaut, deren neuster Konstruktionstypus nachfolgend beschrieben werden soll.[2])

Ein solches zeigen die Fig. 545, 546, 547. Dasselbe wurde in jüngster

---

[1]) Die Räder 26a und 26b vermitteln die Übertragung für die Revolutionszählung.

[2]) In welcher Weise die allseitig anerkannte Konstruktion der Repsold'schen Mikrometer in anderen bedeutenden Werkstätten mit geringen Änderungen Anwendung gefunden hat, zeigen die Fig. 543, 544, von denen die erste ein Mikrometer von Bamberg in Berlin (das des Urania-Refraktors) und das andere ein solches von Heyde, Dresden, darstellt. Dem Fachmann wird eine Vergleichung gewiss von Interesse sein.

Zeit für die Sternwarte in Madison gebaut. Es entspricht in seiner Ausführung im Wesentlichen ganz dem Typus der Repsold'schen Positionsschraubenmikrometer für Äquatoreale, nur fehlt der Positionskreis, es besitzt aber dafür zwei bewegliche Fadensysteme und die Einrichtung zur elektrischen

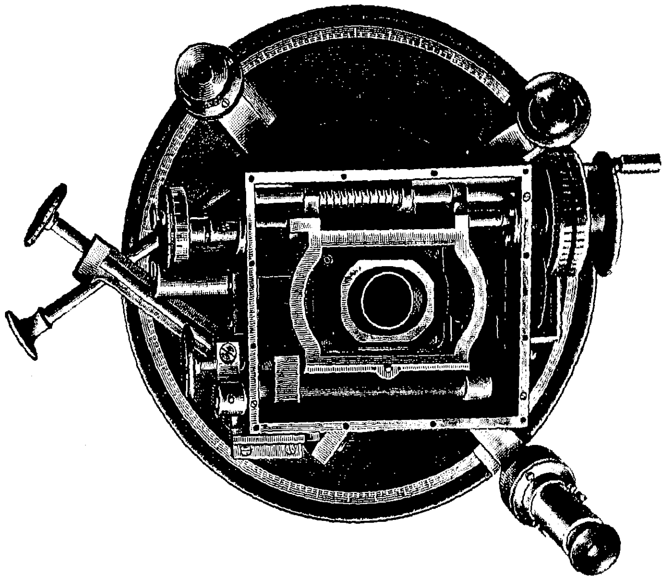


Fig. 543.

Registrirung der Durchgangsbeobachtung, wie sie von Repsold in Bd. 123 der Astron. Nachr. beschrieben wurde, und seitdem bei einer grösseren Anzahl von Durchgangsinstrumenten ausgeführt worden ist. Diese zur Eliminirung der persönlichen Gleichung getroffene Anordnung hat sich sowohl bei den zu Längenbestimmungen benutzten transportablen Instrumenten, als auch bei grossen Meridiankreisen durchaus bewährt. Das Wesen derselben besteht darin, dass der durch die Mikrometerschraube bewegte Vertikalfaden beständig auf den Stern gehalten wird und dass mittelst einer Kontakteinrichtung an der Trommel der Mikrometerschraube bestimmte Drehungswinkel derselben auf einem Chronographen markirt werden, sodass man aus diesen

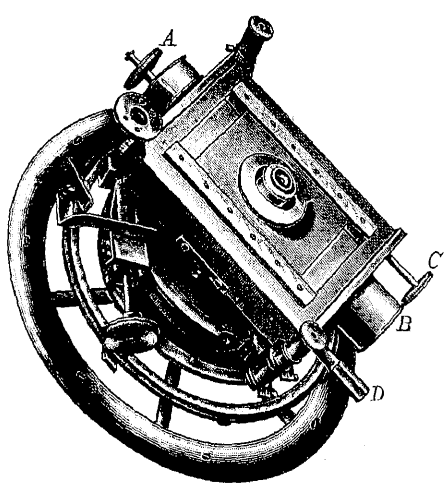


Fig. 544.

Marken auf die Stellung des Sternbildes zur Kollimationslinie des Fernrohres im gegebenen Momente schliessen kann. Von den drei Abbildungen zeigt Fig. 545 dasselbe von vorn, geschlossen und mit einem leichten Schutzblech (1) überdeckt; Fig. 546 das genannte Mikrometer in seitlicher Ansicht und

Fig. 547 das Mikrometer in gleicher Stellung, aber nach Abnahme des vorderen Gehäusedeckels und des Okularschiebers (2).[1] Das Gehäuse wird durch zwei Schieberleisten mit dem Auszugsrohr des Okularstutzens ver-

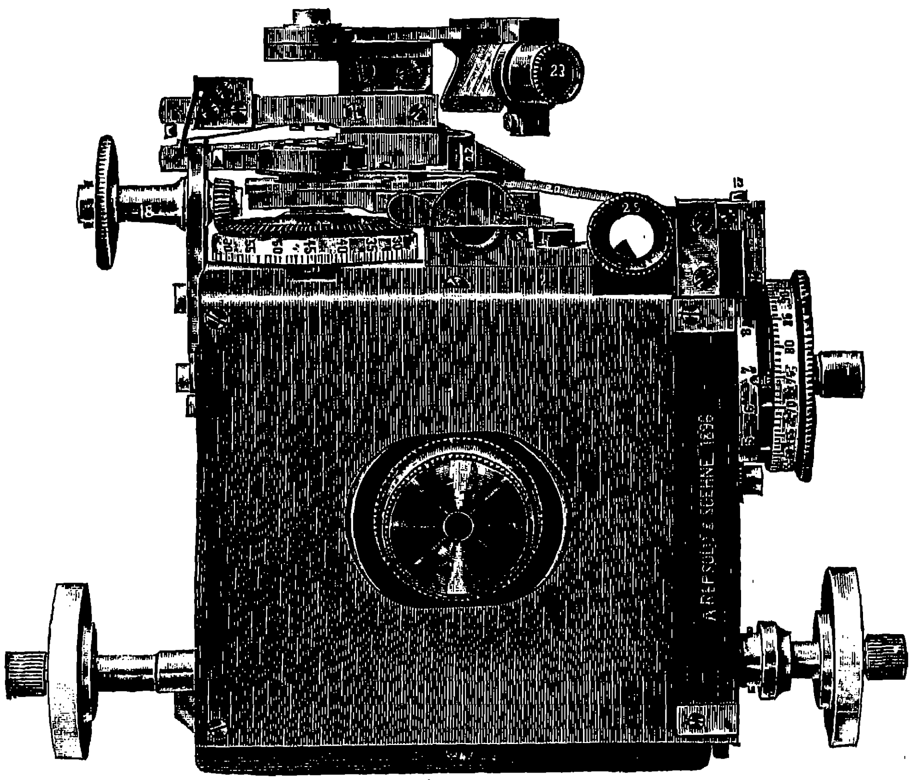


Fig. 545.

bunden und hat auf demselben die bei Durchgangsinstrumenten nöthige Korrektur für Kollimation, während das erstere, wie gewöhnlich, im Fern-

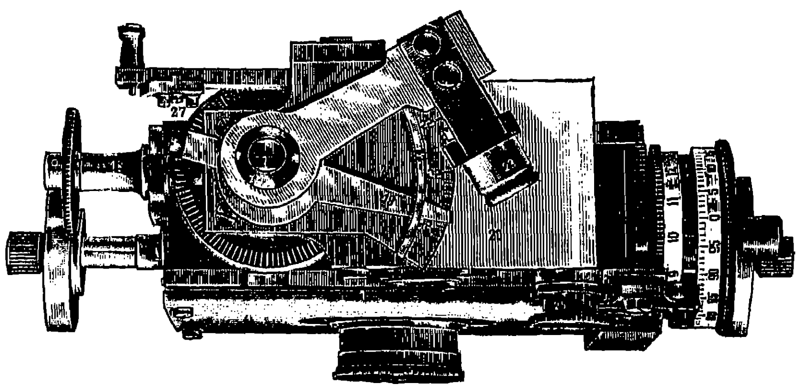


Fig. 546.

[1]) Vergl. die Beschreibung dieses Mikrometers von Dr. Repsold in den Astron. Nachr. Bd. 141, S. 280, welcher das hier Mitgetheilte entnommen ist.

rohr selbst zur Senkrechtstellung der Vertikalfäden korrigirt werden kann. Die Grundplatte des Gehäuses trägt den Träger der festen Fäden (3), Fig. 547, während die vier Gehäusewände den Mikrometerschrauben und den Führungscylindern (4, 5) der beiden beweglichen Fadenplatten als Lager dienen. Jeder der Führungscylinder hat verschiedene Durchmesser und führt seine Fadenplatte (6) und (7) an beiden Enden; gegen den Absatz ruht eine Spiralfeder, welche der Mikrometerschraube entgegenwirkt. Die dritte Führung findet die Fadenplatte an der anderen Seite zwischen zwei Planflächen. Die Mikrometerschrauben tragen beide an dem vorderen, dünneren Ende das Gewinde und führen sich mit demselben in der Mutter der beweglichen Fadenplatte. In

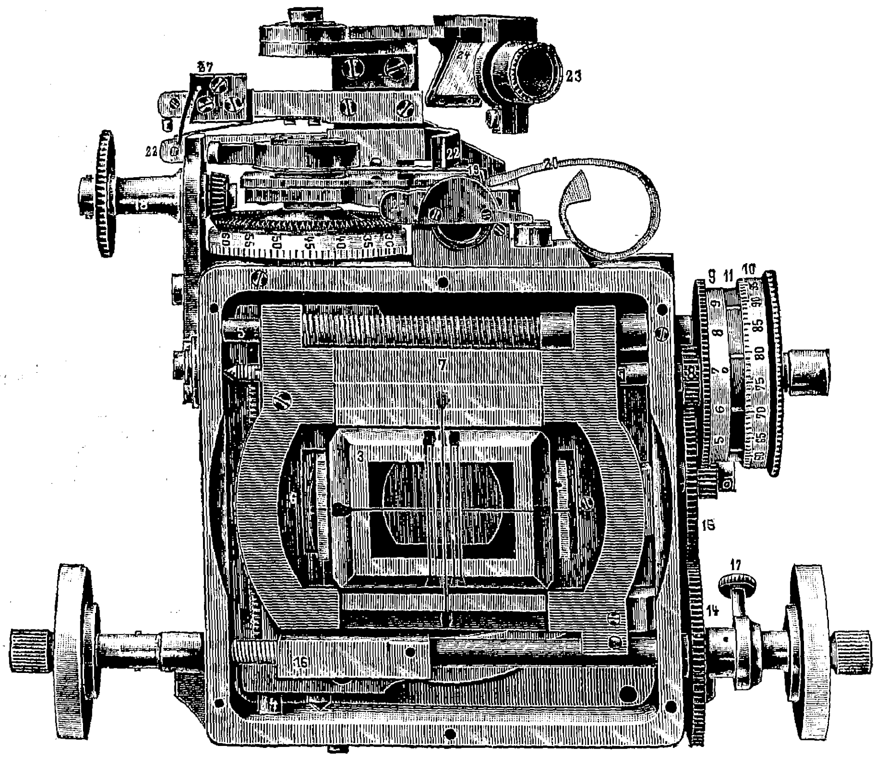


Fig. 547.

dem Gehäuse haben sie an diesem Ende nur Endwiderlage auf einer planen Steinplatte; in den gegenüberliegenden Gehäusewänden aber sind sie mit cylindrischen Drehungszapfen eingepasst.

Soweit sind beide Mikrometerschrauben einander ähnlich; die ausserhalb des Gehäuses liegenden Enden sind aber ihren Zwecken entsprechend verschieden gestaltet. Die Durchgangsschraube zeigt dort zunächst ein Trieb (8), daneben die auf der Schraube frei umlaufende Zähltrommel (9) für die ganzen Umgänge und am Ende fest aufgesetzt die gewöhnliche 100theilige Trommel (10). Mit dieser Trommel ist eine Kontaktscheibe (11) verbunden, welche selbstthätig an bestimmten Punkten Aufzeichnungen am Chronographen bewirkt.

Sie besteht aus einer Messingscheibe mit 12 parallel zur Schraube eingelötheten Platin-Iridiumstreifen, deren Zwischenräume durch eine entsprechend eingeschnittene Hartgummischeibe ausgefüllt sind. Die Cylinderfläche dieser beiden streng in einander gepassten Scheiben ist gleichmässig überarbeitet, so dass die Indexfeder (12), Fig. 545, darauf ohne Widerstand gleitet. Die Feder ist isolirt und durch eine Klemmschraube (13) mit dem Draht des einen Pols der Chronographenbatterie verbunden, während der andere Pol irgendwo dem Okularkopf oder dem Fernrohr angeschlossen und dadurch in leitende Verbindung mit dem Streifen der Kontaktscheibe gesetzt wird. Es muss dann auf dem Chronographen ein Zeichen entstehen, sobald die Indexfeder einen der 12 Kontaktstreifen berührt. Von diesen 12 Streifen sind zehn in gleichen Abständen, zwei aber nahe dem Nullpunkt, Fig. 546, der Mikrometertrommel angeordnet, um diesen auszuzeichnen. Zur besonderen Kennzeichnung des mittelsten Schraubenumgangs in den Aufzeichnungen ist ausserdem an der Zähltrommel ein kleiner Metallstift (bei der Ziffer 7) angebracht, der während des Vorüberganges der drei nahe stehenden Streifen im mittelsten Umgang die Kontaktfeder etwas abhebt und dadurch einen längeren Kontakt, statt der drei nahen, giebt. Zur Erzielung einer recht gleichmässigen Fortbewegung der Mikrometerschraube ist die Einrichtung getroffen, dass sie durch ein auf das Trieb (8) wirkendes Vorgelege an langer, durch das ganze Gehäuse laufender Welle (14), mit beiden Händen gedreht werden kann; ein Zwischenrad (15) giebt zugleich die nöthige Übersetzung von der Schraube zur Zähltrommel. Da nun keine Hand frei ist, das Okular besonders mitzuführen, so trägt die Vorgelegewelle einen Schraubengang und eine darauf bewegliche Mutter (16), welche den Okularschieber an einem vorspringenden Stift mitnimmt. Man kann indessen auch das Vorgelege nach Lösung einer kleinen Klemmschraube (17) ausrücken, und dann bewegt sich der Okularschieber unabhängig von der Mikrometerschraube, wie es bei der gewöhnlichen Beobachtung der Durchgänge geschieht. Wenn man das Mikrometer wieder für das neue Verfahren herrichtet, so ist darauf zu achten, dass der Ausschlag der Bewegung nicht durch die Mikrometerschraube begrenzt werde (sie könnte darunter leiden), sondern durch die Vorgelegeschraube. Man schraubt zu diesem Zweck beide Schrauben rechts drehend vorsichtig so weit, bis man Widerstand findet, und dreht dann die Mikrometerschraube ein wenig zurück, ehe das Vorgelege wieder eingerückt wird. Das Gewinde der Vorgelegewelle ist dreimal grösser als das der Mikrometerschraube, damit man bei Äquatorsternen nicht zu hastig drehen muss. Vor den Handscheiben befinden sich überdies gerillte Köpfe zur schnelleren Bewegung.

Die Mikrometerschraube der unteren beweglichen Fadenplatte für Deklination trägt ausserhalb des Gehäuses nur eine 100 theilige Trommel und ein konisches Zahnrad, an dem sie durch eine Triebwelle mit Handscheibe (18) gedreht wird. Dies ist die gewöhnliche alte Einrichtung mit dem Unterschied, dass die vorgelegte Triebwelle durch ihre Lage parallel zur Durchgangsschraube die Benutzung der Deklinationsschraube erheblich bequemer gestaltet. Eine Zählscheibe ist nicht nöthig, weil man keine Veranlassung

hat, sich weit aus der Mitte zu entfernen, und überdies zwei weit von einander stehende feste Parallelfäden den Stand des beweglichen Fadens nach ganzen Umgängen ohne Weiteres erkennen lassen.

Will man aber wiederholte Einstellungen während eines Durchgangs machen, so benutzt man statt der Mikrometertrommel einen Zeiger (19), Fig. 546, welcher auf der Mikrometerschraube festgeklemmt werden kann. Das umgebogene geschärfte Ende desselben bewegt sich dann bei Drehung der Schraube nahe über einem Papierstreifen (20), welcher unter einer federnden Platte mit getheiltem Bogenrande gehalten wird, und kann in jeder Stellung seines Ausschlages durch einen Scheerenhebel (22) gegen den Papierstreifen gedrückt werden. Den Eindruck liest man mit Hülfe einer drehbaren Lupe (23) (für weitsichtige Augen umzustecken) und eines Spiegels (24) an der Theilung der Federplatte ab. Man kann aber natürlich solches Einstellen und Absetzen beliebig wiederholen und wird dann alle Eindrücke erst ablesen, nachdem der Stern fertig beobachtet ist. Wenn eine zweite elektrische Leitung durch das Instrument geführt würde, liesse sich leicht ein Glühlicht zur Beleuchtung des Papierstreifens am Okularkopf anbringen.

Um mit dem beschränkten Ausschlag des Zeigers bequem und sicher auszukommen, wird man sich zur Regel machen, vor der Einrichtung des Instruments zur Beobachtung den Zeiger ungefähr in die Mitte des Theilbogens zu stellen und dann erst den Stern mit Hülfe der Stellschraube an der Fernrohrklemme ziemlich genau auf den beweglichen Deklinationsfaden zu führen; die Einstellungen während des Durchgangs geschehen ausschliesslich an der Mikrometerschraube und werden durch den Zeiger abgesetzt. Da man auch die Nadirbeobachtungen mit dem Zeiger absetzen kann, so wird es kaum nöthig sein, die Beziehung der Bogentheile zur 100theiligen Trommel festzustellen. Nachdem die Abdrücke eines Durchgangs abgelesen worden sind, hat man an einer drehbaren Hülse (25), in welche das Ende des Papiers eingeklemmt ist, den Streifen um ein Weniges vorzuziehen, um für die weiteren Eindrücke wieder eine freie Papierstelle zu bekommen.

Ist der Papierstreifen zu erneuern, so hebt man durch ein Excenter (26), Fig. 547, dessen Hebelarm den Papierbehälter halb überdeckt, die getheilte Federplatte etwas ab, macht zugleich den Zugang zum Behälter frei, sodass sich eine Papierrolle, die man (etwa auf eine Bleifeder) gewickelt hat, leicht einführen lässt.

Bei beiden Mikrometerschrauben beträgt die Ganghöhe $^2/_3$ mm, bei einem 6füss. Fernrohr also etwa $5^s4 = 81''$, oder eine Umdrehung der Handscheibe des Deklinationstriebes bewegt den Deklinationsfaden um ca. $20''$. Der Ausschlag des Zeigers beträgt $13''$.

An festen Fäden sind im Sinne des Stundenkreises ein oder zwei Fäden nahe der Mitte zur direkten Kontrole der Unveränderlichkeit des Nullpunkts der Schraube erwünscht, ausserdem einige Fäden symmetrisch zur Mitte angeordnet, welche als Anhalt für den Beginn der Beobachtungen an einem zweckmässigen Orte des Gesichtsfeldes, je nach der Deklination des Sterns, dienen. Im Sinne der Deklination genügt ein weites Paar fester Fäden zur Kontrole der Deklinationspunkte und zur ungefähren Bezeichnung der Mitte.

Die Beobachtung eines Sterns nach Durchgang und Deklination wird sich am zweckmässigsten so anordnen lassen, dass zunächst einige Deklinationseinstellungen gemacht und abgedruckt werden, wobei eine Hand, wie früher üblich, zur Nachführung des Okulars benutzt wird; dann um die Mitte herum gleichmässige Nachführung mit beiden Händen, während welcher sich die Kontakte selbstthätig aufzeichnen, und endlich wieder eine Anzahl von Deklinationseinstellungen und Abdrücken. Man erhält in kurzer Zeit eine genügende Zahl von Zeitsignalen (im Äquator ca. 20 Signale in 10 Sekunden) und behält daher für wiederholte Deklinationseinstellungen reichlich Zeit, die sich allerdings alle nur auf eine Kreisablesung beziehen.

Wenn die Deklinationsbeobachtungen in angenommener Weise symmetrisch zum Meridian angeordnet werden, so fällt die Zeit der Deklinationsbeobachtung mit der Zeit des Durchgangs zusammen und braucht nicht aufgezeichnet zu werden. Damit der Beobachter indess nicht zu genau auf die symmetrische Anordnung der Deklinationseinstellungen zu achten habe, ist (in Folge einer Anregung des Herrn Dr. Schorr) an dem Scheerenhebel ein isolirter Kontakt (27) angebracht worden, der mit der Indexfeder in die Chronographenleitung einzufügen ist, so dass sich die Zeiten der Abdrücke selbstthätig am Chronographen aufzeichnen. Es kann nicht schwer halten, durch die Anordnung dieser Signale sie in zweifelloser Weise von den Aufzeichnungen der Kontaktschraube zu unterscheiden.

f. Das Registrir-Mikrometer von Knorre.[1])

Diesem Apparate liegt ebenfalls die Idee zu Grunde, mit Zuhülfenahme eines Chronographen gleichzeitig Rektascensions- und Deklinationsdifferenz zu beobachtender Gestirne aufzeichnen zu können. Das Mikrometer, Fig. 548, ist ein Fadenmikrometer, mit dessen beweglichem Faden die Deklinationen, und mit dessen festem, zu ersterem rechtwinkligem Faden, die Durchgangszeiten der Sterne beobachtet werden. Ein zweiter fester Faden, welcher zu dem beweglichen parallel aufgespannt ist, hat nur den Zweck, die Grenzen, innerhalb welcher man die Deklinationsmessungen ausführen will, bequem ersichtlich zu machen.

Die jedesmalige Lage des zur Deklinationseinstellung dienenden beweglichen Fadens gegen die optische Axe des Fernrohrs wird nicht mit einer Mikrometerschraube bestimmt, sondern dadurch messbar gemacht, dass man im Augenblicke der Einstellung der Deklination eines Sternes einen Papierstreifen a, Fig. 548, gegen die Stahlspitze b, welche, wie das Okular, auf dem Schlitten des beweglichen Fadens befestigt ist, durch eine Hebelvorrichtung andrückt und dadurch eine deutliche, punktartige Marke auf dem Streifen erzeugt. Zugleich mit dem Drucke gegen diese bewegliche Spitze wird aber durch denselben Handgriff der Papierstreifen gegen die an den festen Theilen des Okularstücks angebrachte Stahlspitze b′, deren Verbindungslinie mit der beweglichen Spitze parallel zu der Richtung der

[1]) Das Mikrometer wurde nach Angabe von Tietgen und Knorre von R. Fuess gebaut (Loewenherz, Bericht, S. 31 ff.).

Deklinationsbewegung des Schlittens ist, angedrückt, und der Abstand zwischen den von der beweglichen und von der festen Spitze gemachten Marken auf dem Streifen stellt die Registrirung der jedesmaligen Deklinationseinstellung dar.

Die Hebelvorrichtung zum Andrücken des Papiers besteht aus dem Hebel d, über dessen cylinderförmig gestaltetes Ende e, welches parallel den Stahlspitzen verläuft und senkrecht gegen dieselben bewegt werden kann, der Papierstreifen geführt wird. Ein an diesem Cylinder befestigtes und dicht über dem Papier liegendes geschlitztes Blech bewirkt das Abstreifen

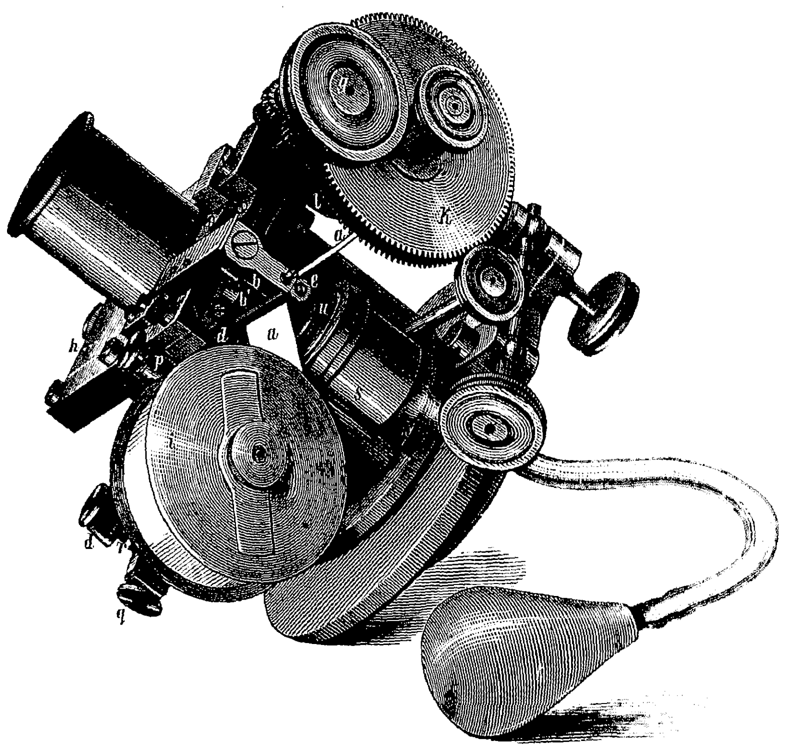


Fig. 548.

des durchstochenen Papiers, wenn nach geschehener Markirung der Hebel d durch eine in der Figur nicht sichtbare Feder in seine Ruhelage zurückgeführt wird.

Die Schraube g bewirkt beim Übergange von einem Stern zum anderen, dass der Papierstreifen a, auf welchem man die Einstellung mittelst der beiden Stahlspitzen markirte, zugleich weiterrückt. Es bringen aber alle Drehungen dieser Schraube nur fortrückende Bewegungen des Streifens in einem und demselben Sinne, von der Papierrolle i gegen die Axe der Walze hervor.

Die Befestigung des Streifens geschieht auf folgende Weise: Die Walze l, Fig. 549, ist parallel ihrer Axe bei c durchbohrt, und in diese Bohrung mündet ein von ihrer Cylinderfläche ausgehender paralleler Spalt m. In

diesen Spalt wird nun das Ende des Papierstreifens eingeführt und durch einen in die Bohrung eingesteckten Bolzen n darin befestigt. Um den Streifen leicht abwickeln zu können, löst man den Sperrhaken o aus dem Zahnkranz der Walze, so dass diese auf ihrer Axe frei drehbar wird.

Endlich finden sich am Apparat noch die beiden Klemmschrauben p und q, Fig. 548, die zur Aufnahme von Leitungsdrähten dienen, mittelst welcher im Moment des Andrückens des Streifens a ein Stromschluss bei r bewirkt werden kann. Mit Hülfe dieser Einrichtung kann man den Apparat auch dazu benutzen, dass mit jedem Andrücken des Streifens gegen die Registrirstifte zugleich auf einem Registrirapparat ein Zeitsignal abgegeben wird, so dass Rektascension und Deklination gleichzeitig mit einem Drucke der Hand auf zwei verschiedenen Registrirstreifen markirt werden können.

Es mag noch erwähnt werden, dass das Andrücken des Streifens gegen die Stahlspitzen b und b_1 im Sinne der Axe des Fernrohrs geschieht, um die Genauigkeit der Messungen nicht durch Bewegungen des Fernrohrs, welche

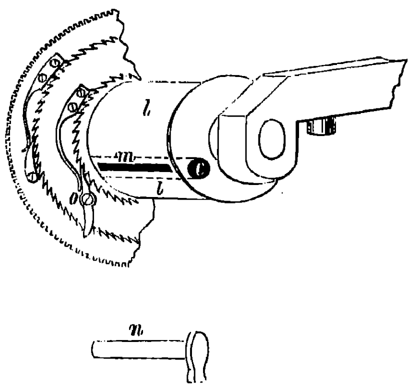


Fig. 549.

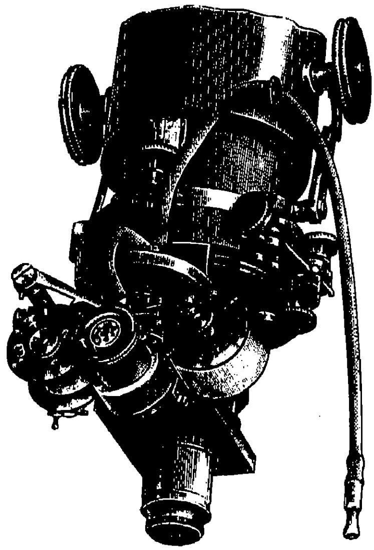


Fig. 550.

dieser Druck verursachen könnte, zu beeinträchtigen. Da es trotzdem denkbar ist, dass der Beobachter unbewusst einen geringen Druck auch senkrecht auf die Axe des Rohrs ausübt, so wird es sich empfehlen, wenn man den grössten Genauigkeitsgrad erreichen will, die dem Mikrometer beigegebene pneumatische Vorrichtung anzuwenden. Dieselbe besteht aus dem Cylinder s, in welchem sich durch das Andrücken und Loslassen des Gummiballes t ein Kolben u hin und her bewegt und das Andrücken des Papierstreifens bewirkt. Diese Vorrichtung lässt sich ohne Mühe entfernen, wenn man es vorziehen sollte, das Andrücken des Streifens mit der Hand auszuführen.[1])

Die Genauigkeit im Winkelwerth, mit welcher durch einen solchen

[1]) Ein nach diesen Principien gebautes neues Mikrometer stellt Fig. 550 nach einer mir von H. Knorre gütigst zur Verfügung gestellten Originalphotographie dar.

Apparat die Registrirung von Deklinationsdifferenzen ausgeführt werden kann, hängt natürlich, ausser von der guten Einrichtung des Apparats und der Stabilität des benutzten Fernrohrs, wesentlich von der Fokalweite desselben ab. Nach den mit einem derartigen Mikrometer auf der Berliner Sternwarte gemachten Erfahrungen halten sich die möglichen Fehler bei einem Fernrohr von 4 m Brennweite noch innerhalb der Grenzen, welche man bei Beobachtungen mit solchen Mikrometern, z. B. bei Kartirungen oder Aufsuchen von kleinen Planeten, noch als zulässig ansehen darf.

g. Mikrometer von Sägmüller.

In den meisten der bisher beschriebenen Mikrometer ist es eine Spiralfeder, welche bei der Linksdrehung der Mikrometerschraube den Fadenrahmen zurücknimmt, das hat manche Übelstände im Gefolge; vor Allem den, dass man bei einer Messung eigentlich die Schraube nur in der Richtung bewegen soll, in welcher sie die Feder zusammendrückt, trotzdem wird aber z. B.

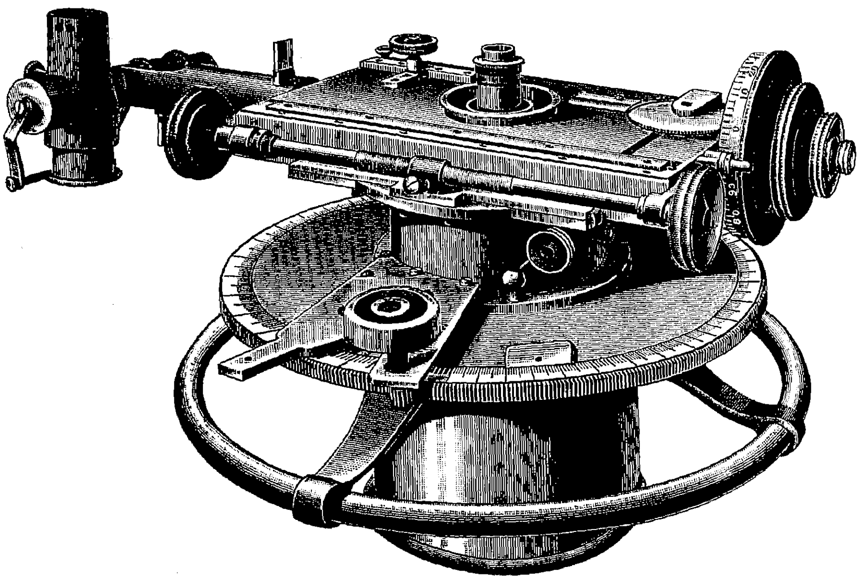


Fig. 551.

die Pressung der Schraube gegen ihr Muttergewinde von der Stellung des Fadenrahmens auf derselben abhängig (vergl. die Untersuchungen von Knorre, Peter u. A.). Deshalb hat Sägmüller (Firma Fauth & Co.) bei dem Mikrometer, Fig. 551, welches er für den grossen Lick-Refraktor gebaut hat, eine andere Anordnung getroffen. In Fig. 552 (Durchschnitt des Mikrometers) ist P der Positionskreis, K der Mikrometerkasten, welcher, wie oben beim Clark'schen Mikrometer, mittelst der Schraube S im Ganzen auf einer Grundplatte verschiebbar ist. In diesem wird mittelst der Mikrometerschraube S′ der Rahmen R für die beweglichen Fäden hin und her geführt. Bei dieser Bewegung wird aber der Rahmen durch die beiden Ketten I und II stets gegen dieselbe Seite der Schraube gedrückt, welche an ihrem

einen Ende an diesen Rahmen und mit dem anderen auf je einer Federtrommel F, F′ befestigt sind, in ähnlicher Weise wie die Zugkette in einem Chronometer. Sind die Federn lang genug genommen, sodass immer nur

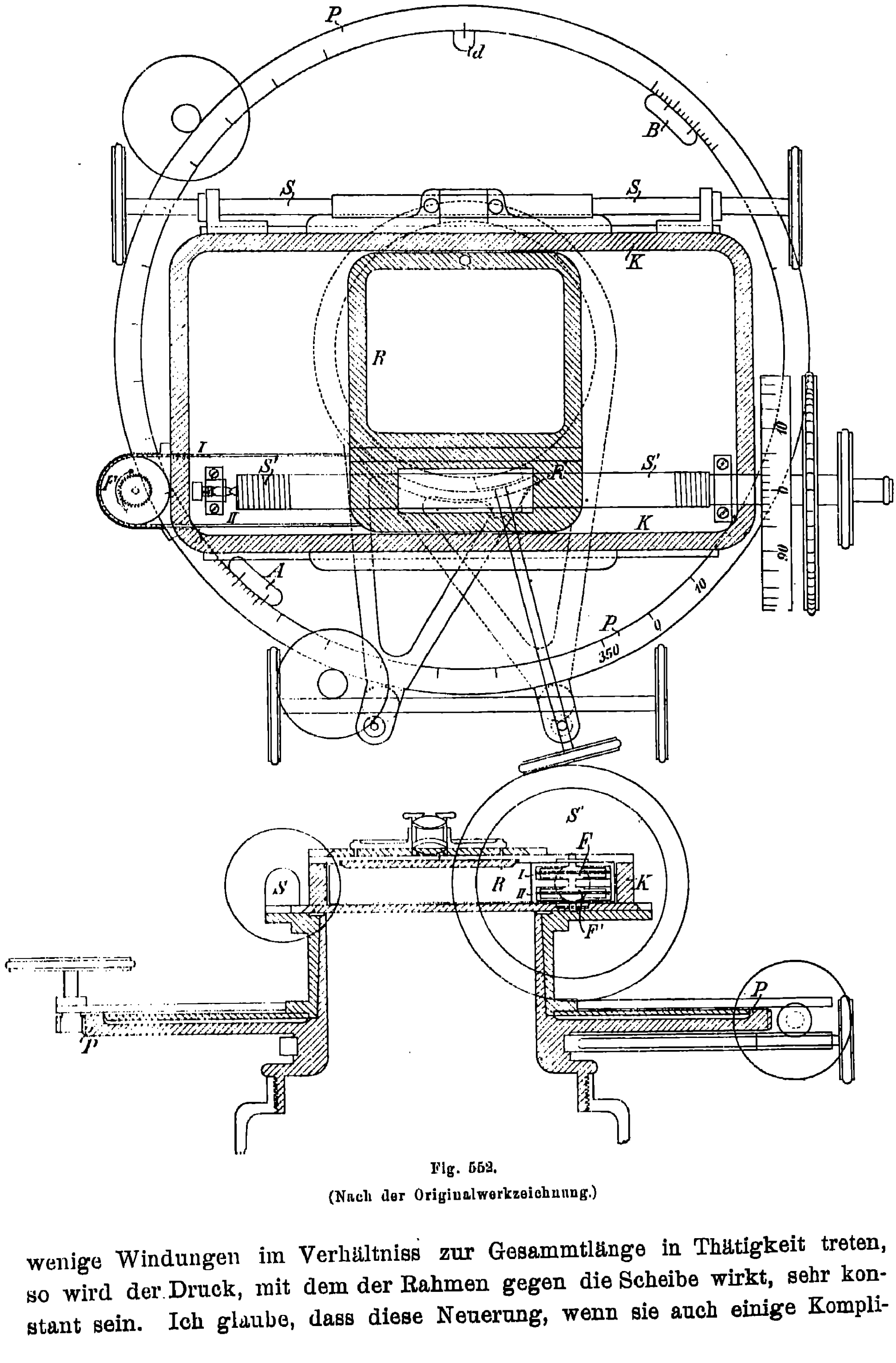


Fig. 552.
(Nach der Originalwerkzeichnung.)

wenige Windungen im Verhältniss zur Gesammtlänge in Thätigkeit treten, so wird der Druck, mit dem der Rahmen gegen die Scheibe wirkt, sehr konstant sein. Ich glaube, dass diese Neuerung, wenn sie auch einige Kompli-

kationen mit sich bringt, doch beachtenswerth sein dürfte. Im Übrigen sind wohl die Durchschnitte dieses grossen Mikrometers, welche hier zum ersten Mal veröffentlicht werden, dem Fachmanne verständlich, so dass von einer weitläufigen Beschreibung abgesehen werden kann.

h. Das Doppelmikrometer von Grubb.

Sollen mit einem Schraubenmikrometer Distanz und Positionswinkel zweier Gestirne gemessen werden, welche so weit von einander abstehen, dass sie wohl noch zugleich in genügender Weise vom Objektiv in der Fokalebene abgebildet werden, dass aber ihr Abstand doch zu gross ist, um sie bei einer Stellung des Okulars gleichzeitig zur sicheren Koincidenz mit den Fäden bringen zu können, so müsste man das Okular während der Beobachtung verschieben und würde dann die Kontrole über die Einstellungen leicht verlieren; denn es ist durchaus nöthig, dass soweit irgend möglich bei einer Beobachtung mittelst eines Fadenmikrometers die Einstellung der Gestirne möglichst in der Mitte des Gesichtsfeldes des Okulars stattfindet. Um das zu erleichtern, hat Grubb ein besonderes Mikrometer unter dem Namen „Duplexmikrometer" konstruirt, welches ich hier der Vollständigkeit wegen noch beschreiben möchte, obgleich ich nicht glaube, dass damit besondere Vortheile erzielt werden können.[1]) Fig. 553 stellt dieses Mikrometer dar.

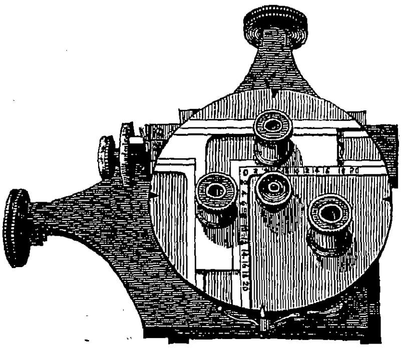


Fig. 553.
(Aus Konkoly, Anleitung.)

Auf eine planparallele Glasplatte von etwa 6 cm im Quadrat sind 21 parallele Linien in gleicher Entfernung etwa 2 mm von einander gezogen, in einer dazu senkrechten Richtung sind nahe 5 cm aus einander zwei ähnliche Linien gezogen, so dass die extremen Linien des ganzen Systems ein Quadrat von nahezu 5 cm Seitenlänge bilden. Diese Glasplatte befindet sich in dem festen Kasten des Mikrometers. In der einen Richtung dieses Vierecks, welche den Stundenkreisen entspricht, ist auf die gewöhnliche Weise ein Mikrometerschlitten beweglich, welcher 11 Fäden trägt, die direkt über der Glasplatte gleiten und den auf dieselben gezogenen engen Linien genau parallel sind. Die Ganghöhe der Schraube ist so gewählt, dass auf ein Intervall der engen Fäden 10 Umdrehungen kommen und die Entfernung der engen Fäden derartig, dass ihre Entfernung zwei Strichintervallen genau

[1]) Ist die Distanz der Gestirne so gross, wie hier vorausgesetzt, so ist es eben angebracht, andere mikrometrische Mittel zu verwenden, als ein Fadenmikrometer bei folgendem Fernrohr. Es empfiehlt sich dann, Rektascensions- und Deklinationsdifferenz bei ruhendem Fernrohr zu messen oder überhaupt einen anderen mikrometrischen Apparat zu verwenden. Beschreibungen der Grubb'schen Anordnung finden sich in den Proceedings of the Royal Dublin Soc. und in den Oxforder Annalen von Pritchard. — Konkoly beschreibt dasselbe wie hier mitgetheilt (Konkoly l. c., S. 567).

gleichkommt. Über der Deckplatte des Mikrometers sind in geeigneten Ausschnitten zwei Okulare senkrecht zu einander beweglich, so dass das eine in der Richtung der Rektascensions-, das andere in der Richtung der Deklinationsfäden bewegt werden kann. Die Beobachtungen werden dann in der Weise ausgeführt, dass man jeden der Sterne mittelst eines der Deklinationsfäden bei einem Durchgang durch das Gesichtsfeld bisecirt und so ihre Entfernung von den nächstgelegenen Strichen der Glasplatte misst; dadurch wird stets nur ein kleiner Theil der Schraube benutzt, da der Haupttheil der Deklinationsdifferenz durch die Anzahl der zwischenliegenden Strichintervalle bestimmt wird. Mit Hülfe der beiden Vertikalstriche lassen sich dann auch Rektascensionsdifferenzen bestimmen. Durch Drehung der ganzen Okularplatte lässt sich zur Beobachtung auch ein drittes in derselben fest angebrachtes Okular verwenden; ausserdem kann zur Messung von Rektascensionsdifferenzen auch die Mikrometerschraube benutzt werden.

B. Auswerthung der mit einem Schraubenmikrometer angestellten Beobachtungen.

Zur Auswerthung der mit einem Schraubenmikrometer angestellten Beobachtungen ist es vor Allem erforderlich, den Winkel zu kennen, welcher der Höhe eines Schraubenganges entspricht, d. h. den Winkel unter dem die Strecke erscheint, welche der bewegliche Faden zurücklegt, wenn die Mikrometerschraube um eine Revolution gedreht wird und zwar von der Mitte des Objektivs aus gesehen. Dieser Auffassung entspricht auch die nächstliegende, wenn auch in der Ausführung nicht die zuverlässigste Methode der Bestimmung. Es ist offenbar, wenn R den gesuchten Winkel in Bogensekunden bedeutet

$$\mathrm{tg}\,\frac{1}{2}\,R = \frac{h}{2f},$$

wo h die Höhe des Schraubenganges und f die Brennweite des Objektivs ist.

Da R immer nur klein sein wird (etwa zwischen 10″—30″), so kann man ohne Weiteres setzen

$$R = \frac{h}{f} \cdot \frac{1}{\sin 1''}$$

und erhält mit bekanntem f und h den Werth von R unmitttelbar.

Bezüglich der Bestimmung der Brennweite ist auf das Kapitel Fernrohr und wegen der Aufsuchung des Werthes von h auf das, was über diesen Punkt bei den Ablesemikroskopen gesagt ist, zu verweisen.

Eine andere Methode entspricht der bei Durchgangsinstrumenten gebräuchlichen und besteht darin, dass man den beweglichen Faden senkrecht zur täglichen Bewegung stellt und nun die Antritte eines dem Pol nahen Sternes (δ zwischen 70° und 80°) an dem beweglichen Faden beobachtet, nachdem man demselben eine grössere Anzahl verschiedener Stellungen gegegeben hat, deren Unterschiede man in Schraubenumdrehungen an der Trommel der Mikrometerschraube abliest.

Ist dann T die Zeit, welche ein Stern mit der Deklination δ braucht, um

den Weg im Gesichtsfelde zu durchlaufen, der m R Revolutionen entspricht, so hat man, wie leicht einzusehen

$$m R = 15 T \cos\delta \quad \text{oder} \quad R = \frac{15 T \cos\delta}{m}.$$

Diese Methode ist sehr leicht anwendbar, sie erfordert aber eine grössere Anzahl von Durchgängen, wenn eine genügende Genauigkeit erzielt werden soll, allerdings erlaubt sie auch die Vergleichung der verschiedenen Theile der Schraube und giebt daher ein Mittel für deren Untersuchung.[1])

Auch nach dem Gauss'schen Verfahren kann man mit Hülfe eines zweiten winkelmessenden Instrumentes die Divergenz der von den beweglichen Fäden in verschiedenen Stellungen ausgehenden Centralstrahlen messen und aus den so gefundenen Daten auf den Winkelwerth einer Schraubenrevolution schliessen. Auf dasselbe kommt es natürlich hinaus, wenn man auf eine solche Weise den Abstand der festen Fäden bestimmt und sodann deren Entfernung mittelst des beweglichen Fadens misst. Ist das Mikrometer z. B. an einem Meridiankreis, so lassen sich auch die Kreisablesungen zur Bestimmung der Winkelwerthe verwenden, wenn man für die verschiedenen Stellungen des Instrumentes, welche die Koincidenz des beweglichen Fadens in extremen Stellungen mit einem festen Objekt oder mit dem Bild im Quecksilberhorizont bedingt, den Kreis abliest.

Alle diese Methoden stehen an Genauigkeit aber derjenigen nach, welche sich aus der Messung der Distanz zweier Gestirne mittelst des beweglichen Fadens ergiebt, deren anguläre Entfernung anderweit sehr genau bekannt ist, z. B. aus einer grossen Anzahl von Meridianbeobachtungen oder aus Heliometermessungen. Dabei empfiehlt es sich ganz besonders, eine Vervielfältigung in der Weise vorzunehmen, dass man durch Aneinanderreihung von 3 bis 5 kleinen Distanzen, welche zwischen 4 bis 6 Sternen liegen, das Intervall der beiden äussersten bestimmt und dann dieses als bekannt voraussetzt. Dadurch werden die Einflüsse der Fehler der Einzelmessungen herabgedrückt und die Sicherheit des Resultats bedeutend erhöht. Wünschenswerth ist es, dass die Endsterne und die zwischenliegenden nahe auf demselben grössten Kreis gelegen sind. Es eignen sich zu diesem Zwecke z. B. die Sterne in den

[1]) Auch für Mikrometer, deren bewegliches Fadennetz der täglichen Bewegung der Gestirne parallel liegt, kann diese Methode angewendet werden, man hat dann nur die Durchgänge der Gestirne (etwa des Polarsterns) zur Zeit ihrer grössten Digression zu beobachten. Man erhält dann für die Differenz der Zenithdistanzen des beobachteten Gestirns für das Zeitintervall T

$$\sin \Delta Z = \sin(Z_1 - Z_0) = \sin T \cos\delta + \frac{1}{2} \operatorname{cotg} \frac{Z_1 + Z_0}{2} \sin^2 2\delta \sin^4 \tfrac{1}{2} T,$$

wobei zu bedenken ist, dass der zweite Theil der rechten Seite immer wird zu vernachlässigen sein, wenn der benutzte Stern dem Pol nahe war. Für den Polarstern z. B. ($\delta = 88^0 45'$; $T = 20^m = 5^0$ und $\frac{1}{2}[Z_1 + Z_0] = 40^0$) ist dessen Betrag nur $0''.0028$, dagegen muss wohl auf die Differenz der Refraktion geachtet werden; ist r_1 die Refraktion für Z_1 und r_0, die für Z_0, so hat man zuletzt

$$R = \frac{\Delta Z - (r_1 - r_0)}{m}.$$

Plejaden, deren Positionen sehr genau bekannt sind und unter denen sich für jedes Mikrometer eine Reihe passender finden wird. Ausserdem sind in neuer Zeit häufig eine Reihe von Sternen im Perseus (A Z des Sternhaufens h Persei) zu diesem Zwecke benutzt worden, welche nahe in einem Bogen grössten Kreises liegen; es geschah dieses z. B. auch bei der Untersuchung des Schraubenwerthes des grossen Pulkowaer Refraktors.[1])

Werden solche Messungen bei verschiedenen Temperaturen angestellt, so bekommt man aus einer Vergleichung derselben auch zugleich den Betrag, um welchen sich der Schraubenwerth für 1^{0} C. ändert.[2])

Wie genau z. B. solche Abstände jetzt bekannt sind, zeigt folgende Tabelle für A Z im Sternenhaufen des Perseus.

	1891.0	
Bonner Heliom. Krüger 1881.6	$\Delta\alpha$ $1^{m}\,30^{s},357$	$\Delta\delta$ 18′ 37″,06
4 Reihen Pulkow. Beob. am Vertikal- u. Meridian-Kr. (1870—1874)	—	37 ,16
Helsingf. A. G. Zonen 2 Beob.	30,103	38 ,68
Beob. am Strassbg. M.-Kr. 1884	—	37 ,12
Beob. am Pariser M.-Kr. 1884	—	37 ,18
Beob. am M.-Kr. d. Harv.-Coll.	—	37 ,12
Beob. am M.-Kr. d. Naval-Obs.	—	37 ,53
Yale-Coll. Heliom. Elkin 1884	—	36 ,61
München, Fadenmikrom. Oertel (1888—1889). . .	1 30,095	37 ,29
Göttinger gr. Heliom. Schur	30,337	37 ,08
Leipziger Heliom. Peter (1891.0)	30,393	37 ,07
Leipzig M.-Kr.	1 30,425	—

Die Distanz s = 1342″,566 der Posit.-Winkel p = 33° 41′,44 nach Göttinger Heliom.-Messgn.
1332 ,82 „ „ 33 42 ,46 „ Leipziger „

Ein kurzes Beispiel, welches den Untersuchungen des Pulkowaer Refraktors entnommen ist,[3]) mag hier noch zur Erläuterung einer solchen Untersuchung dienen.

H. Struve hat die Entfernung der beiden Sterne A und Z des Perseusbogens mit der Schraube des Mikrometers bei verschiedenen Temperaturen und bei verschiedenen Lagen der Schraube gemessen.[4])

[1]) Vergl. darüber „Zum 50jährigen Bestehen der Nicolai-Hauptsternwarte“, St. Petersburg 1889. Die Entfernung der beiden Endsterne im Sinne der Deklination ist dort als Mittel aus einer grösseren Anzahl Meridiankreis- und Heliometerbeobachtungen zu $\Delta\delta = 18'37'',35$ angenommen für 1888.0, für 1900.0 wird sehr nahe $\Delta\delta = 18'36'',5$ sein.

[2]) Dieses Verfahren für Ermittlung des sogenannten Wärmefaktors ist dem vorzuziehen, welches sich auf Ermittlung der Veränderung der Brennweite und auf die Kenntniss des Ausdehnungskoefficienten der Schraube gründet.

[3]) Vergl. Astron. Nachr., Bd. 121, S. 205. Auch für den Pulkowaer Refraktor sind am angegebenen Orte die bezüglichen Daten zu finden, im Übrigen ist auf die betreffende Litteratur zu verweisen.

[4]) Zwei Messungen bei sehr niedriger Temperatur sind weggelassen, weil sie wegen Klemmung der Schraube zu unsicher waren.

Er fand (Datum ist weggelassen, weil hier nicht von Belang):

Lage der Schraubentrommel	Revol.	Temp.	Lage der Schraubentrommel	Revol.	Temp.
oben	12,7780	+ 9,7 C.	oben	12,7768	+ 13,5 C.
unten	823	+ 9,5	unten	823	+ 14,2
„	817	+ 11,7	oben	797	+ 14,9
„	857	+ 9,7	unten	889	— 4,2
„	795	+ 12,0	oben	816	— 7,3
oben	848	+ 10,2	unten	875	— 3,0

Werden diese Zahlen so vereinigt, dass man die Werthe für Schraubenkopf oben und unten abgerundet ausgleicht, so erhält man folgende Normalgleichungen:

Für Trommel „oben" $5{,}09 = 5{,}00\,x + 41{,}00\,y$
$38{,}03 = 41{,}00\,x + 656{,}70\,y$

„ „ „unten" $9{,}79 = 7{,}00\,x + 40{,}90\,y$
$56{,}29 = 40{,}90\,x + 693{,}40\,y$

wo x die Verbesserung der zunächst für 0° zu 12,7700 Rev. angenommenen Dek.-Differenz und y die Ausdehnung der Schraube auf diese Strecke für 1° C.

Hieraus folgt $x = 12{,}7811$ und $y = -0{,}000010$
resp. $x = 12{,}7841$ „ $y = -0{,}000002$
für 1 Rev. und 1° C. in Trommeltheilen.

Die Anwendung des Fadenmikrometers kann eine verschiedene sein, je nachdem das Instrument, an welchem es benutzt wird, gebaut ist. An Meridianinstrumenten wird ein System von Fäden den Vertikalkreisen und zugleich in nöthiger Annäherung auch den Stundenkreisen parallel sein, während das andere, senkrecht dazu stehende, Theile von grössten Kreisen darstellt, die sich alle in der Ost-West-Linie des Horizonts schneiden. So lange die Sterne dem Pol nicht zu nahe sind, giebt der Unterschied der Durchgangszeiten zweier Gestirne unmittelbar die Rektascensionsdifferenz, während die zugehörigen Kreisablesungen die Deklinationsdifferenz ergeben (vergl. Durchgangsinstrument). In ähnlicher Weise kann auch das Fadenmikrometer an einem Äquatoreal benutzt werden, wenn letzteres der täglichen Bewegung nicht folgt. Das eine System der Fäden ist dann den Stundenkreisen und damit das andere den Parallelkreisen parallel zu stellen. Die Orientirung erreicht man am besten dadurch, dass man einen Stern auf einem dieser Fäden entlang laufen lässt und so lange im Positionswinkel dreht, bis dieses in genauer Weise geschieht. Dann sagt man „das Fadennetz ist nach dem scheinbaren Parallel orientirt."[1])

Die relative Stellung zweier Gestirne wird dann durch ihren Rektascensions- ($\Delta\alpha$) und Deklinationsunterschied ($\Delta\delta$) angegeben. Der erstere ist

---

[1]) Im Meridian fallen scheinbarer und wahrer Parallel zusammen; die Abweichung, hervorgebracht durch die Refraktion wird am grössten in der Nähe des ersten Vertikals. Macht man obige Orientirung also im Meridian und dreht dann das Instrument um die Polaraxe, so wird ein Stern in einem grösseren Stundenwinkel nicht mehr den Faden entlang laufen; das Netz ist dann nach dem wahren Parallel orientirt. Je nach der Art der Beobachtung ist das Eine oder das Andere vortheilhafter.

ohne weiteres mit der oben erwähnten Einschränkung gleich dem Unterschied der Durchgangszeiten beider Gestirne durch dieselben Fäden

$$\Delta a = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \ldots \tau_n}{n} - \frac{\tau'_1 + \tau'_2 + \tau'_3 + \ldots \tau'_n}{n}.$$ [1])

Die Deklinationsdifferenz hingegen wird in der Weise bestimmt, dass man das vorausgehende Objekt mittelst der Feinbewegung des Äquatoreals oder mittelst der Verschiebung des ganzen Mikrometerkastens (Repsold's Konstruktion) auf einen „festen" Faden des Deklinationssystems bringt, und sodann den beweglichen Faden auf das nachfolgende Gestirn einstellt und die Trommel abliest. Die Differenz zwischen dieser Ablesung und derjenigen, welche bei der Koincidenz mit dem benutzten „festen" Faden stattfindet, giebt in Schraubenumdrehungen den Deklinationsunterschied. Sind sowohl mehrere feste als mehrere bewegliche Fäden vorhanden, so wählt man bei der Messung der Deklinationsdifferenz diejenigen aus, welche die geringste Anzahl von Schraubenumdrehungen erforderlich machen. Die Bestimmung der Koincidenz erfolgt mittelst Lichtlinien (vergl. Ablesemikroskop, S. 138). Auch wenn das Äquatoreal mittelst des Uhrwerkes den Gestirnen folgt, kann man Rektascensions- und Deklinationsdifferenz messen und zwar unter gleicher Orientirung der Fäden wie oben, nur muss man einmal (falls nicht zwei bewegliche Fadensysteme vorhanden sind) Δa messen, indem man einen Stern auf einen festen Faden und den beweglichen auf das andere Gestirn bringt, während man nach Drehung des Mikrometers um 90^0 im P. W. die Messung von $\Delta\delta$ vornimmt. Die letztere ist dann ganz in derselben Weise wie oben auszuwerthen, während man für Δa den strengen Ausdruck erhält

$$15 \sin \Delta a = 2 \sin \frac{1}{2} (\mathrm{m\,R}) \sec \delta_0,$$

wo δ_0 gleich dem Mittel beider Deklinationen ist. (Es ist darauf zu sehen, dass sowohl bezüglich der Rektascensions- als der Deklinationsunterschiede die Gestirne möglichst symmetrisch zur Mitte des Gesichtsfeldes liegen.) Für Sterne in nicht zu grosser Deklination kann man dann mit genügender Genauigkeit setzen

$$\Delta a = \frac{\mathrm{m\,R} \sec \delta_0}{15}.$$

Ist das Mikrometer mit einem guten Positionskreise versehen, was bei Äquatorealen die Regel sein wird, ist es also ein sogenanntes Positionsmikrometer, so kann man es, wie oben erwähnt, in anderer Weise mit Ausnutzung dieses Kreises und der Uhrbewegung verwenden, indem man nicht Δa und $\Delta\delta$ misst, sondern die Entfernung beider Gestirne (s) und den Positionswinkel (p) ihrer Verbindungslinie.

---

[1]) Ist die Orientirung nach dem scheinbaren Parallel erfolgt, so stehen die AR-Fäden nicht senkrecht auf den Parallelkreisen, und es muss daher an die Durchgangszeiten eine Korrektion angebracht werden, wenn eine Deklinationsdifferenz vorhanden ist; diese Korrektion ist für das Gestirn von der Deklination δ'

$$\mathrm{d}\,a = \frac{1}{15} (\delta' - \delta) \sin \mathrm{u} \sec \delta,$$

wo u der Winkel zwischen scheinbarem und wahrem Parallel ist.

Dies geschieht dadurch, dass man das Mikrometer in Position so lange dreht, bis der Mittelfaden des festen Systems beide Gestirne bisecirt, sodann den P.-Kreis abliest, dessen Angabe P sein mag, und davon die Ablesung P_0 abzieht, welche man gemacht hat, als im Meridian ein Stern vermöge der täglichen Bewegung bei feststehendem Instrument längs des Fadens entlang lief. Dann ist

$$p = P - P_0.$$

Die Distanz der beiden Gestirne erhält man sodann durch Messung ihres Abstandes mittelst des beweglichen Fadens, indem man das eine der Gestirne auf einen festen Faden einstellt, welches, da das Fernrohr dem Gestirne folgen soll, auf dem Faden bleiben wird, und den beweglichen Faden auf das andere Gestirn bringt. Ist m die Anzahl der Revolutionen der Schraube zwischen festem Faden und zweitem Stern, so hat man $s = m\,R$,[1]) wo R der Werth einer Revolution in Bogensekunden ist. Bei dieser Art der Beobachtung ist ein zuverlässiger Gang des Triebwerkes Hauptbedingung, andererseits ist aber auch p noch wegen etwaiger unrichtiger Aufstellung des Äquatoreals zu korrigiren, während auf die Distanz ein Einfluss derselben nicht zu berücksichtigen ist. Diese Korrektion (λ) ist

$$\lambda = \gamma \sin(\tau - \vartheta) \sec\delta - i_1 \sec\delta + c \operatorname{tg}\delta - e \cos\varphi \operatorname{tg}\delta \sin\tau,$$

wo γ die Entfernung des Pols des Instruments vom Pol des Himmels, ϑ der Stundenwinkel des Instrumentenpols, $i_1 = i - \varepsilon \sin\varphi$ und i die Abweichung des Winkels zwischen Deklinations- und Polaraxe von 90^0, e die Biegung des Fernrohrs im Vertikalkreis, ε diejenige der Deklinationsaxe und c die des Fernrohrs mit Bezug auf die Deklinationsaxe ist, während τ und δ Stundenwinkel und Deklination des beobachteten Gestirns bedeuten (vergl. Äquatoreal). Hat man p und s gefunden, so kann man daraus auch $\Delta\alpha$ und $\Delta\delta$ ohne weiteres ableiten, es ist

$$\Delta\alpha = s \sin p_0 \sec\delta_0$$
$$\Delta\delta = s \cos p_0,$$

wo δ_0 die Mittel-Deklination und p_0 streng genommen der P. W. der Verbindungslinie beider Gestirne an einem in der Mitte zwischen ihnen gelegenen Punkt ist. p und p_0 stehen in der Beziehung, dass

$$p_0 = p + \frac{1}{15} s^2 \sin 1'' \sin 2p\,(1 + 2 \operatorname{tg}^2 \delta_0) \text{ ist.}$$

Die gegebenen Formeln für Ableitung von P. W. und Distanz sowohl, als diejenigen für AR- und Deklinationsdifferenz enthalten noch nicht die wegen der Wirkung der Refraktion oder eventuell der der Parallaxe nöthigen Korrektionen. Bezüglich Ableitung derselben muss aber auf die Lehrbücher der sphärischen Astronomie verwiesen werden.

---

[1]) Streng: $\operatorname{tg}\frac{1}{2}s = m \operatorname{tg} R$.

3. Mikrometer, bei welchen nur Bilder der Fäden oder der Punkte in der Fokalebene erscheinen.

A. Die Mikrometer von Lamont, Steinheil, Stampfer u. Anderen.

Wir haben oben schon bei Gelegenheit der Besprechung der Fadennetze den Versuch näher erörtert, welchen STAMPFER und LITTROW ausführten, um an die Stelle der Fäden selbst nur deren Bilder treten zu lassen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass bei manchen Messungen mittelst Fadenmikrometers die Beugungserscheinungen, welche auftreten, sobald das Licht eines Gestirnes, z. B. des Randes einer Planetenscheibe, äusserst nahe an den Fadenkanten vorbei geht, im Stande sein können, das Resultat zu entstellen. Diese Überlegung war die Veranlassung zu den genannten Versuchen. Es ist auch schon dort darauf hingewiesen worden, dass sich Netze von Bildern der Fäden nur zu relativen Messungen eignen dürften, und auch auf die komplicirte Anordnung, welche sie erfordern. Man war daher nach jenen Versuchen, welchen noch die von LAMONT in München und von RESELHUBER[1]) in Kremsmünster sich anschlossen, wieder von der Anwendung solcher „Ghostmikrometer" oder besser „Fadenbildmikrometer" abgekommen, namentlich, nachdem es gelungen war, die Fäden in zufriedenstellender Weise hell auf dunklem Grunde durch Beleuchtung von vorn sichtbar zu machen.

B. Das Ghostmikrometer von Grubb.

In neuerer Zeit sind CHAS. E. BURTON und Sir HOWARD GRUBB wieder mit ähnlichen Apparaten unter den erst genannten Namen hervorgetreten. Ihre

---

[1]) Solche Versuche findet man beschrieben in:
Steinheil, Über neue Netzmikrometer (Astron. Nachr., Bd. V, S. 117).
Steinheil, Über Mikrometer (Schumacher's Jahrbuch. 1844, S. 17).
Lamont, Jahrbuch der kgl. Sternwarte Bogenhausen. 1840, S. 186.
Stampfer, Vorschlag eines neuen Fernrohrmikrometers mit hellen Linien und Punkten im dunklen Gesichtsfelde (Annalen der k. k. Sternwarte in Wien, Thl. XXI, Neue Folge, Bd. I, S. XLIV).
Reselhuber, Über Stampfer's Lichtpunktmikrometer im Fernrohr des Meridiankreises in Kremsmünster (Wiener Sitzungsberichte 1856, Bd. XX, S. 314).
Stampfer, Zusatz zur vorstehenden Abhandlung l. c. S. 327.
v. Littrow, Über lichte Linien im dunklen Felde bei Meridianinstrumenten (Wiener Sitzungsberichte 1856, Bd. XX, S. 253).
v. Littrow, Über das Mikrometer mit lichten Linien bei den Wiener Meridianinstrumenten (Wiener Sitzungsberichte 1860, Bd. XL).
P. Bidder, Monthly Notices 1874, June.
Steinheil brachte vor dem Objektiv O ein zweites kleineres o an, Fig. 554, und in der optischen Axe des Fernrohres, durch eine Stange A gehalten, das Mikrometernetz m auf einer Glasplatte. Wird dieses durch eine Lampe sichtbar gemacht, so entsteht bei richtigen Abmessungen im Fokus von O durch o ein Bild dieses Strichnetzes zugleich mit dem Bild des beobachteten Objektes.
Bidder's Mikrometer ist dem Steinheil'schen ziemlich ähnlich, Fig. 555 zeigt dessen Anordnung. Es ist W der Beleuchtungsspiegel, bei E befindet sich das Mikrometernetz, von welchem durch die Prismen H u. K, sowie die Linsen bei l u. l_1 im Fokus von O ein Bild entworfen wird.

Konstruktion ist in Fig. 556 dargestellt.[1]) Das Mikrometer besteht aus zwei Rohren, welche sich senkrecht zu einander durchschneiden. Das eine wird bei SS in das Fernrohr eingeschraubt und trägt an seinem unteren Ende das darin verschiebbare Okular E; der senkrecht hierzu stehende Cylinder nimmt an dem einen Ende das bewegliche oder feste Fadennetz F auf,

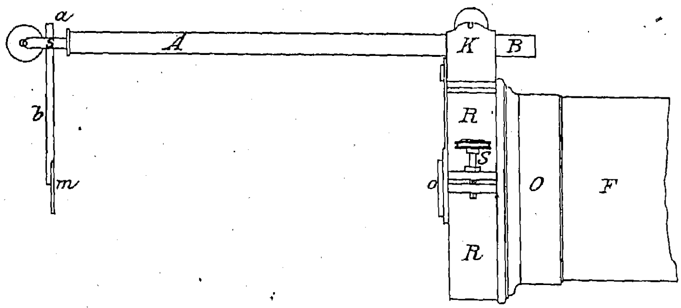


Fig. 554.

während an der anderen Seite ein konkaver Spiegel M befestigt ist, dessen Krümmungsradius ein wenig grösser ist, als die Entfernung zwischen F und M beträgt. In der Verbindung der beiden Cylinder ist ein unter 45° zu FM geneigter ebener Spiegel PP befestigt, welcher in der Mitte in Form einer

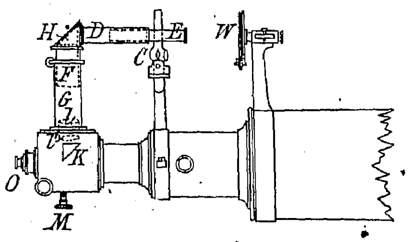


Fig. 555.

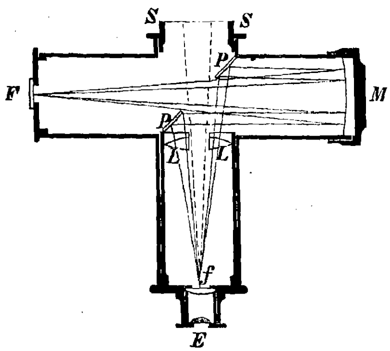


Fig. 556

Ellipse ausgeschnitten ist, um sowohl die von F, als die vom Objektiv kommenden Strahlen durchzulassen. Unmittelbar unter P ist eine ebenfalls durchbohrte achromatische Linse L angebracht, welche die Konvergenz der von M kommenden Strahlen vergrössern soll. Wird nun F erleuchtet, so gehen die vom Fadennetz kommenden Strahlen zum Spiegel M, werden von diesem reflektirt, an dem inneren Rande des Spiegels P aufgefangen und in die Okularröhre geworfen, wo sie nach dem Durchgange durch L im Fokus f, welcher gleichzeitig auch der des Objektivs sein muss, vereinigt werden, und dort also ein Bild des Mikrometernetzes erzeugen.

Neben dieser einfachen Form geben Burton und Grubb noch eine

[1]) Vergl. Monthly Notices, Bd. XLI, No. 2 und Scient. Proceedings of the Royal Dublin Soc. 1881, S. 1.

Reihe anderer Konstruktionen dieser Mikrometer an, welche aber ihrem Wesen nach mit den beschriebenen völlig übereinstimmen, nur eine vielleicht weniger zweckmässige Anordnung darbieten. Die an der angegebenen Stelle mitgetheilten Resultate scheinen für die Brauchbarkeit dieser Mikrometer zu sprechen. Eine erwähnenswerthe Eigenschaft dieser Art des Mikrometers ist z. B. auch die, dass man sie sowohl in Verbindung mit Ramsden'schen als auch mit Huyghens'schen Okularen anwenden kann; denn es ist selbstverständlich für das Bild der Mikrometereinrichtung einerlei, ob es vor der ersten Linse des Okulars oder zwischen den Linsen desselben zu Stande kommt, sobald man nur der noch hinzukommenden Brechung Rechnung trägt. Dies gilt natürlich nur so lange, als man nicht neben einem Fadenbildmikrometer noch ein wirkliches Fadennetz im Fokus des Objektivs verwenden will, was, wie schon erwähnt, bei absoluten Messungen stets erforderlich sein dürfte.

Elftes Kapitel.

Doppelbildmikrometer.

Die bisher betrachteten Mikrometer bedurften zur Ausführung der Messung immer eines Mittels in Gestalt einer Linie, eines Fadens, der Kante eines Diaphragmas oder auch nur des Bildes einer solchen Einrichtung, welches die Grenzen einer zu messenden Distanz zu fixiren gestattete. Anders ist es bei den sogenannten Doppelbildmikrometern. Hier werden auf irgend eine Art die in das Fernrohr gelangenden Lichtstrahlen in zwei Theile gesondert, von denen jeder für sich ein Bild des Objektes erzeugt. Auf diese Weise ist man im Stande, ganz gleichartige Dinge bei der Messung mit einander zu vergleichen und sich so von manchen physikalischen Einflüssen frei zu machen, welche z. B. bei der Berührung des Bildes einer Planetenscheibe mit dem Faden eines Mikrometers oder dergl. von Bedeutung sein könnten. Aus diesen und anderen Gründen haben im Laufe der Zeit die Doppelbildmikrometer in der verschiedensten Form der messenden Astronomie vorzügliche Dienste geleistet. Je nach der Art wie die Verdoppelung des Bildes hervorgebracht wird, unterscheidet man verschiedene Arten dieser Mikrometer.

1. Die Verdoppelung findet durch das Objektiv oder doch mit Benutzung desselben statt.
2. Zwischen Objektiv und Okular ist eine Einrichtung zur Verdoppelung des Bildes eingeschoben.
3. Das Okular, ein Theil desselben oder eine vor demselben angebrachte Einrichtung verdoppelt das Bild.

Eine Verdoppelung des Bildes eines Objekts im Fernrohr ist wahrscheinlich schon von O. Römer zur Anwendung gelangt, doch ist mit Bestimmtheit darüber nichts bekannt, da auf unsere Zeit nur ein kleiner Theil der Römer'schen Schriften gekommen ist, welcher sich in „Horrebow's Basis Astronomiae" wiedergegeben findet. Diese aber enthält keinerlei Angaben über den Römer'schen Apparat. Die erste nachweisbare Benutzung der Bildverdoppelung zu Messungszwecken ist auf Savary zurückzuführen, welcher schon im Jahre 1743 der Royal Society in London einen darauf beruhenden Vorschlag unterbreitete. Bradley, dem diese Schrift zuging, verzögerte aber, wie Short in einem diesbezüglichen Schreiben bezeugt, deren Mittheilung und so kam es, dass erst im Jahre 1753 die Erfindung Savary's in den Transactions of the Royal Society publicirt wurde.[1]) Während dessen hatte aber Bouguer in Paris

[1]) Savary, A new way of measuring the diameter of the sun, with a micrometer etc. (Read 1743) with a letter of J. Short (Philos. Transact. 1753).

ganz ähnliche Vorschläge gemacht und dieselben im Jahre 1748 in den Mémoires de l'académie de Paris mitgetheilt und LALANDE war 1752 im Besitz eines Bouguer'schen Objektivmikrometers, Fig. 557, welches sich in seiner Astronomie Bd. II, Tafel XXVIII, Fig. 186 abgebildet findet.[1]) Aber erst die Verbesserungen, welche die DOLLONDS an diesem Apparate vornahmen, verschafften demselben weiteren Eingang, doch war die Anwendung dieses Mikrometers immerhin noch selten, bis die genialen Einrichtungen, welche FRAUNHOFER und neuerdings die REPSOLDS dem Objektivmikrometern gaben, dieselben zu Messinstrumenten ersten Ranges umschufen. Aber auch diejenigen Doppelbildmikrometer, bei welchen die Verdoppelung nicht durch das Objektiv, sondern auf anderem Wege erzielt wird, haben im Laufe der Zeit vielfach Veränderungen und Verbesserungen erfahren, so dass sie auch in neuerer Zeit noch in manchen Formen zu exakten Messungen Verwendung finden.[2])

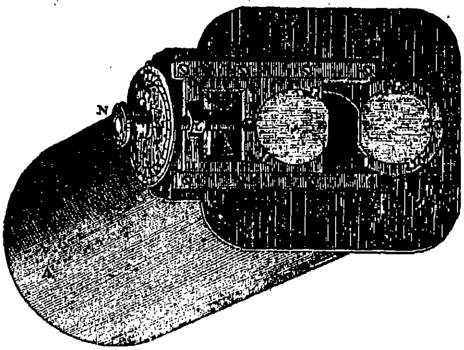


Fig. 557.

Das Messen des Durchmessers eines Himmelskörpers oder der Distanz zweier Gestirne mittelst eines Doppelbildmikrometers beruht, wie bemerkt, darauf, dass man den in das Fernrohr gelangenden Strahlenkegel in zwei gleiche Theile zerlegt und dass jeder dieser Theile dann ein Bild des Objektes allerdings von geringerer Helligkeit erzeugt. Denkt man sich z. B. die Sonne als Objekt, so wird, wenn die optischen Theile so gestellt sind, dass die den beiden Linsenhälften entsprechenden Lichtkonen koncentrisch sind, nur ein Sonnenbild erzeugt werden. Werden die Linsenhälften (beim Heliometer also die des Objektivs) auseinander geschoben, so dass die optischen Axen parallel bleiben (oder die Radien eines mit ihrer Brennweite um ihren gemeinschaftlichen Fokus beschriebenen Kreises darstellen) und in gleicher Entfernung von der Fokalebene, so werden die beiden Bilder der Sonne auseinanderrücken und bei einer bestimmten Stellung sich berühren. Merkt man sich diese Stellung der Objektivhälften und schiebt dieselben wieder zusammen und noch nach der anderen Seite auseinander, bis wiederum die Berührung der Ränder der beiden Sonnenbilder eintritt, so wird die Differenz beider Stellungen der Objektivhälften angeben, wie weit ihre optischen Mittelpunkte auseinander bewegt werden müssen bis die Verbindungslinien derselben mit dem Fokus des Okulars einen Winkel miteinander einschliessen, der dem gleich ist, unter welchem der Sonnendurchmesser zur gegebenen

[1]) Auf der Göttinger Sternwarte befindet sich ein solches „Heliometer", welches mit der Fig. 557 genau übereinstimmt.

[2]) Leider muss ich es mir an dieser Stelle versagen, auf die Geschichte des Doppelbildmikrometers näher einzugehen, die äusserst interessant ist. Ich hoffe aber das mir zur Verfügung stehende sehr vollständige Material demnächst an anderer Stelle zu einer darauf bezüglichen Mittheilung zu benutzen.

Zeit erscheint. Hat man auf irgend eine Weise durch die Umdrehung einer Schraube oder die Theile einer Skala die Differenz der Stellungen gemessen und kennt man andererseits die Brennweite der Objektive, so lässt sich daraus der gesuchte Winkel finden. Denkt man sich an die Enden der Durchmesser der Sonne statt dieser Sterne gestellt, so gilt vorstehende Betrachtung auch ohne weiteres für die Distanzmessung von Gestirnen. Ist man auch noch in der Lage, den Richtungsunterschied der Verbindungslinie beider Objekte (oder die ihr gleich gerichtete Centrallinie der beweglichen optischen Theile des Mikrometers) gegen den Stundenkreis, den Positionswinkel dieser Linie, zu bestimmen, so ist damit die relative Lage zweier Objekte am Himmel gefunden. Wie das erzielt wird, werden wir bei der nun folgenden Beschreibung der einzelnen Doppelbildmikrometer und vornehmlich des Heliometers sehen.

Die verschiedenen Methoden der Messung von Sterndistanzen am Heliometer und ihre Vorzüge gegeneinander, sowie die betreffenden Reduktionsverfahren sind von mir eingehend behandelt in „Distanzmessungen mit dem Heliometer" (Zschr. f. Instrkde. 1893, S. 17) auf welchen Aufsatz hier aber des Raumes wegen verwiesen werden muss.

1. Objektivdoppelbild-Mikrometer (Heliometer).

A. Heliometer mit ebener Führung der Objektivhälften.

a. Ältere Konstruktionen.

Die ersten Heliometer waren, wie schon ihr Name sagt, zur Messung des Durchmessers der Sonne bestimmt und bestanden aus zwei ganzen Objektiven von gleicher Brennweite, welche mit ihren Mitten soweit zusammengebracht werden konnten, dass der Winkel, den die Verbindungslinie ihrer Mitten mit dem Fokus des Okulars einschloss, etwas kleiner gemacht werden konnte, als der scheinbare Durchmesser der Sonne beträgt. Da damit die Öffnung des Fernrohrs in Bezug auf seine Brennweite begrenzt war, so hat man später[1]) von den Objektiven je ein Segment abgeschnitten, wie es Fig. 557 zeigt. Damit war aber immer der Übelstand der unbequemen Montirung und namentlich derjenige noch nicht gehoben, welcher aus einer nicht völligen Gleichheit beider Objektive entstand. Es muss daher das Vorgehen DOLLOND's als ein Fortschritt bezeichnet werden, welcher vor das eigentliche Objektiv des Fernrohrs noch eine zweite diametral durchschnittene, schwache Konkavlinse setzte. Beide Hälften waren durch geeignete Schlüssel und Schrauben, wie es die Fig. 558, 559, 560 zeigen, unabhängig von einander beweglich und ihre Stellung durch Skalen mit Verniers ablesbar.[2]) Durch das Hinzukommen dieser zweiten Linse wird aber nicht nur die optische Qualität der

[1]) Vergl. Lalande l. c.

[2]) Ein solches Instrument befindet sich in Königsberg, wo es Bessel zu seinen ersten Messungen benutzte und daran die Vorzüglichkeit der Methode der Doppelbilder kennen lernte (Briefwechsel zwischen Gauss und Bessel, S. 195). Die Fig. 558, 559 u. 560 stellen einige Formen Dollond'scher Heliometer-Objektive dar, Fig. 560 ist nach einer mir gütigst zur Verfügung gestellten Photographie des Bessel'schen Instruments geschnitten.

Bilder erheblich verschlechtert, sondern es werden auch bei verschiedenen angulären Entfernungen der beobachteten Objekte (resp. bei Verschiedenheit der gemessenen Durchmesser) erheblich verschiedene Theile der Objektivlinsen zur Erzeugung des Bildes verwendet und bei grossen Distanzen eventuell nur kleine Theile derselben, so dass eine Ungleichheit der Bilder, namentlich ihrer Helligkeit eintritt. Diese und andere Übelstände veranlassten zunächst, dass die Heliometer nicht in ausgedehnte Anwendung genommen wurden und dass man

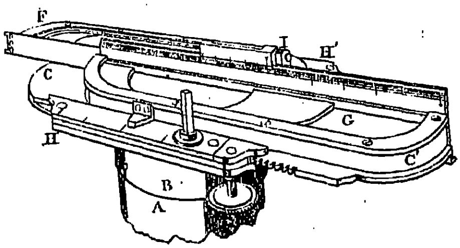


Fig. 558.

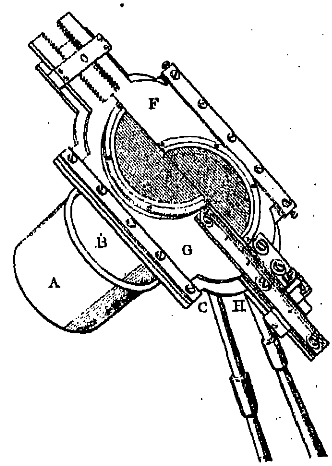


Fig. 559.

auch ihre Theorie weniger ausbildete.[1]) Man wendete sich mehr den Doppelbildmikrometern der zweiten und dritten Gattung zu, von denen später die Rede sein wird. Nachdem aber FRAUNHOFER es gewagt hatte, das Objektiv eines grösseren Fernrohres selbst zu durchschneiden und die Aus-

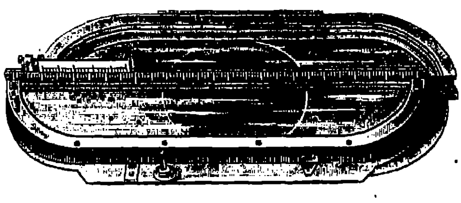


Fig. 560.

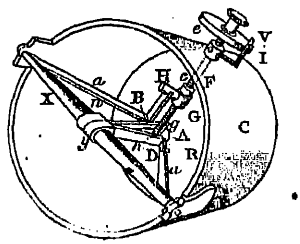


Fig. 561.

führung gelungen war, erkannte man die grossen Vortheile der Heliometer voll an; aber es war zunächst BESSEL allein, welcher sich der Mühe der schwierigen Untersuchung eines der grössten dieser Instrumente unterzogen hat und mit ihm dann Resultate gewann, welche heute noch als Vorbild exakter Messung dienen können.

[1]) Es dürfte von Interesse sein, zu bemerken, dass auch Ramsden den Versuch machte, das Princip des Heliometers auf katoptrische Instrumente anzuwenden. Er durchschnitt, wie es Fig. 561 zeigt, den kleinen Spiegel eines Cassegrain'schen Reflektors und machte beide Hälften, welche an besonderen Trägern D und B befestigt waren, mittelst der Schraube e in entgegengesetzter Richtung verschiebbar. Die beiden Träger drehten sich um die gemeinschaftliche Axe X und der Winkel, welchen die Normalen auf beiden Spiegelhälften mit einander bildeten, konnte durch die Umdrehungen der Schraube an deren getheiltem Kopf V und dem Index J abgelesen werden. Bezüglich der Benutzung des Apparates ist nichts Genaueres bekannt geworden. Vergl. „The Description of two new Micrometers. By Mr. Ramsden; communicated by Joseph Banks, Esq. (Philos. Transact. 1779, T. II, S. 419—431.)"

b. Die Fraunhofer'schen Heliometer.

Das erste Heliometer, welches FRAUNHOFER den Astronomen zum Gebrauche lieferte, war das für GAUSS in Göttingen bestimmte. Das Instrument kam 1814 in Gauss' Hände, war aber damals noch nicht ganz vollkommen. Nachdem einige Änderungen vorgenommen und namentlich auch ein neues Objektiv eingesetzt war, wird es als ein vorzüglicher Messapparat geschildert, der allerdings fast gar nicht in ernsthafte Benutzung genommen wurde. Das Objektiv hat eine Öffnung von 34‴ und eine Brennweite von 43 par. Zoll. Das Rohr war von Holz und die beiden Objektivhälften befanden sich auf besonderen Schiebern, die unabhängig von einander bewegt werden konnten, um, wie GAUSS an BESSEL schreibt, eine Repetition der Messung zuzulassen (in jener Zeit ein vielfach beliebtes Mittel zur Erhöhung der Genauigkeit einer Messung). Als im Jahre 1873 das hier genannte und drei andere ganz gleiche Fraunhofer'sche Heliometer dazu ausgewählt wurden zur Messung der Lage der Venus gegen das Sonnencentrum bei Gelegenheit des Venusvorüberganges von 1874 zu dienen, wurden dieselben von REPSOLD den neueren Anforderungen entsprechend umgebaut.[1])

Namentlich wurden die Instrumente mit einem Metallrohr und mit einem Mikrometermikroskop zur Ablesung der Objektivverschiebung versehen, welches letztere durch zwei auf den Schiebern angebrachte feine Theilungen geschehen konnte. Das Göttinger Fraunhofer'sche Heliometer ist in seinen einzelnen Theilen in den folgenden Figuren dargestellt. Fig. 562 zeigt dasselbe in der Gesammtansicht auf einem Repsold'schen Äquatorealstativ;[2]) Fig. 563 stellt den Objektivkopf und Fig. 564 die Okulartheile dar. Von einer näheren Beschreibung kann hier abgesehen werden, da eine solche für eines der ganz ähnlich gebauten grösseren Königsberger, Pulkowaer und Bonner Instrumente hier gegeben werden soll und damit auch zugleich die Einrichtung der kleinen Instrumente verständlich wird. Es mag nur bemerkt werden, dass in der Fig. 563 die von REPSOLD vorgenommene Änderung[3]) der Schieberbewegung und die Mikroskopablesung hervortritt, die also erst nachträglich angebracht ist und eine symmetrische Bewegung der Objektivhälften und eine Elimination der Schrauben als messende Theile bezweckte (vergl. darüber die später gegebene Beschreibung der neuen Repsold'schen Heliometer).

Die Aufstellung der grösseren Fraunhofer'schen Heliometer von 6″ resp. 7″ Öffnung ist die gewöhnliche Fraunhofer'sche, welche in ihrer typischen Form bei dem grossen Dorpater Refraktor beschrieben wird. Bei dem Königsberger Instrument ist das ganze Stativ ebenfalls von Holz, hat aber anstatt des ab-

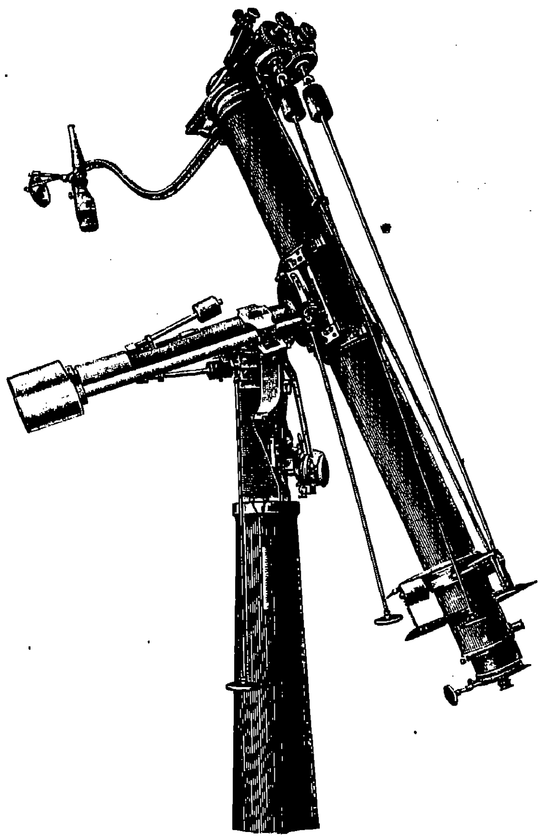
---

[1]) Es sind das die gleichen Heliometer von Berlin, Breslau und Strassburg, das letztere früher in Gotha wurde von Hansen mit einer eigenthümlichen Montirung versehen. 1882 wurde auch noch das Hamburger (früher Olbers'sche) Instrument zu gleichen Zwecken etwas umgearbeitet.

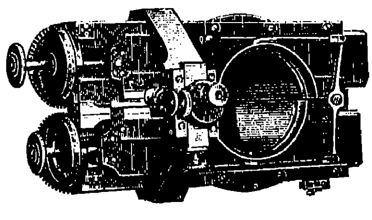
[2]) Die Konstruktion der Deklinationsaxe, welche hier sichtbar ist, zeigt die Fraunhofer'sche Originaleinrichtung.

[3]) Vergl. A. Auwers, Berichte über die deutschen Expeditionen zur Beobachtung der Vorübergänge der Venus vor der Sonnenscheibe in den Jahren 1874 und 1882.

gestützten Trägers der Polaraxe einen solchen bis zum Fussgestell durchgehenden, wodurch diese Axe eine sicherere Lage bekommt. Das Pulkowaer Heliometer dagegen, Fig. 565,[1]) wurde auf einem entsprechenden Steinpfeiler aufgestellt, was den strengen Forderungen der Stabilität mehr entsprach, wenn ja auch gerade bei dergleichen Instrumenten diese letztere nur eine untergeordnete Rolle spielt.


Fig. 562.

Auf dem der Weltaxe parallel gestellten Träger (1) ruht die Polaraxe (2) in zwei festen Lagern (3, 3), welche fast um deren ganze Länge von einander entfernt und mit der gemeinsamen Trägerplatte (1) aus einem Stücke sind. Diese Axe trägt an ihrem unteren Ende den Stundenkreis (4) und an ihrem oberen eine angegossene Flansche (5) auf welcher die Büchse (6) für die Deklinationsaxe (7) aufgeschraubt ist. Diese trägt an einem Ende das Lager für das Fernrohr des Heliometers (8) und am anderen die erforderlichen Gegengewichte (9). Die Äquilibrirung dieser letzten Theile wird durch zwei Hebel (10) vermittelt, welche sich in je einem auf der Büchse für die Deklinationsaxe befestigten Kugelgelenke (11) frei bewegen können und welche an ihrem längeren Ende ein Gewicht (12) tragen, während sie mit dem kürzeren Ende in einen Ring


Fig. 563.

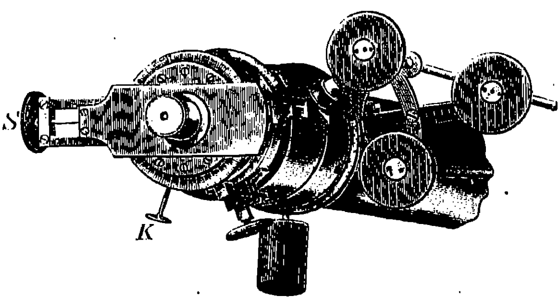


Fig. 564.

[1]) Die Fig. 565 stellt das etwas grössere Pulkowaer Instrument dar; auch beziehen sich die weiteren Daten auf dieses. Obgleich das Königsberger Instrument das historisch bei Weitem wichtigere, dürfte das Pulkowaer seiner Zeit doch das vollkommenere gewesen sein.

(13) aus Glockengussmetall eingreifen, welcher die Deklinationsaxe umfasst und in vier Öffnungen Rollen (14) trägt, deren Axen parallel der Deklinationsaxe stehen. Von diesen Rollen werden in jeder Lage des Instrumentes

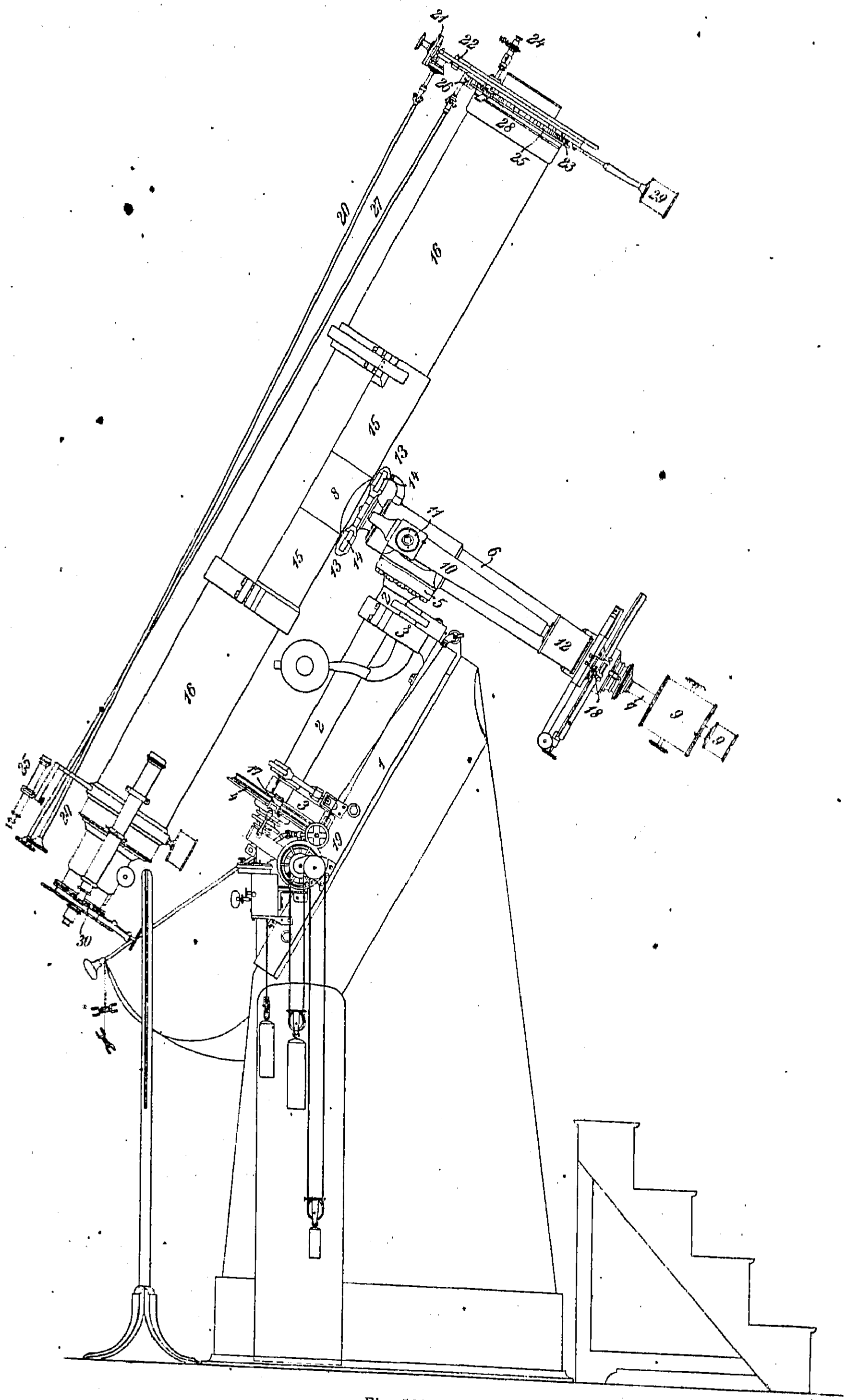


Fig. 565.
(Nach „Descript. de l'observ. de Poulkova".)

mindestens zwei die Deklinationsaxe tragen und so die Axenreibung in der Büchse bis auf ein Geringes aufheben, da die Lage des Ringes so gewählt ist, dass er sich immer sehr nahe unter dem Schwerpunkt des Systems Fernrohr, Deklinationsaxe und Gegengewicht des ersteren befinden muss. Diese Einrichtung, welche für die meisten Fraunhofer'schen Montirungen charakteristisch ist, machte es möglich, das Fernrohr ganz um die Deklinationsaxe zu drehen und zwei Nonien anzubringen. Die der Deklinationsaxe (7) angefügte Wiege (15) trägt nun das eigentliche Heliometerfernrohr (16). Dasselbe ist 123 Zoll (3,33 m) lang[1]) und hat an seinem oberen Ende einen Durchmesser von 359 mm und am unteren, den Okularansatz tragenden Ende, einen solchen von 284 mm.[2]) Das Rohr ist von Holz und unten und oben durch starke Metallringe begrenzt, von denen der eine den Objektivkopf und der andere den Okularansatz trägt. Der Stundenkreis ist von 4 zu 4 Zeitsekunden getheilt und durch die beiden Nonien (17) abzulesen, während der Deklinationskreis von 582 mm Durchmesser von 10′ zu 10′ getheilt und mittelst des Verniers (18) auf 10″ ablesbar ist. In den gezähnten Rand des Stundenkreises greift mittelst der Schraube ohne Ende (19) direkt das Uhrwerk ein. Die Einrichtung desselben ist genau die des Dorpater und

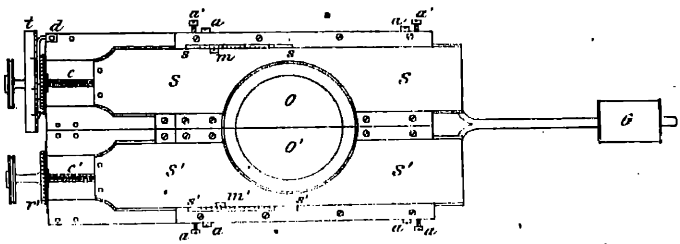


Fig. 566.

des älteren Pulkowaer Refraktors (siehe dort). Der wesentliche Theil des Instrumentes, das nach einem Durchmesser zerschnittene Objektiv, Fig. 566 u. 567, hat 200 mm Öffnung und ist so eingerichtet, dass man jede der beiden

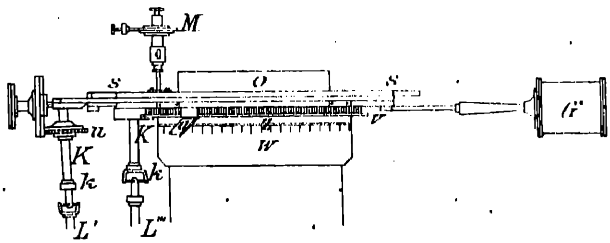


Fig. 567.

---

[1]) Die von Reichenbach eingeführten und am Dorpater Refraktor und an vielen anderen Fernrohren sowohl an parallaktisch aufgestellten, als auch bei Durchgangsinstrumenten angebrachten Hebel zur Aufhebung der Biegung sind hier weggelassen, da die gedrungene Form des Rohres sie überflüssig macht, dieselben auch für die freie Bewegung der Schlüssel ein Hinderniss gewesen sein würden.

[2]) Das Königsberger Heliometer hat die entsprechenden Dimensionen von 2,60 m, 271 mm und 244 mm.

Hälften O und O′ mit ihren Fassungen, den sogenannten Schiebern S S und S′S′ unabhängig von einander in Beziehung auf ihre Lage zur Axe des Rohres bewegen und den Parallelismus ihrer Bewegung mittelst der Schräubchen a a und a′ a′, von denen die ersteren Zug- und die anderen Druckschrauben sind, herstellen kann. Die Schieber mit den Objektivhälften werden durch die feinen und äusserst sorgfältig geschnittenen Schrauben c und c′ bewegt, und zwar können diese mittelst einer Übertragung durch konische Räder U resp. (21) und lange am Rohre entlang laufende Schlüssel L′ L″ resp. (20, 20), Fig. 565, gedreht werden. Diese Schrauben dienen aber auch gleichzeitig zur Messung der Verschiebungen der beiden Objektivhälften. Zu diesem Zwecke hat die auf der einen Schraube ausserdem noch befestigte Trommel t einen so grossen Durchmesser, dass an der auf ihr angebrachten Theilung noch etwa die Tausendtheile einer Umdrehung abgelesen werden können, was einem Winkel von etwa 0,05 Sek. entspricht. Die Verschiebung der Objektivhälften konnte aber bei diesen Heliometern noch auf eine andere Art gemessen werden, welche bei der neuen Konstruktion ausschliesslich in Verwendung kommt. Die beiden Objektivschieber tragen nämlich je eine Theilung auf Silber auf ihrer äusseren Fläche, und auf dem Rahmen, in welchem sie sich bewegen, sind Mikrometermikroskope M resp. (24) angebracht, die noch einzelne Hunderttheile der Bogensekunde abzulesen gestatten. Diese Einrichtung hat Bessel aber nur zur Untersuchung der Schraube benutzt und nicht zu Messungen selbst. Die Trommeltheilungen beim Pulkowaer und Bonner Instrument können durch ein am Okularende angebrachtes Fernrohr (25) abgelesen werden, Fig. 565, sodass dieses geschehen kann, ohne das Fernrohr mit dem Objektiv nach dem Beobachter zu wenden, wie es noch Bessel gethan hat. Die Verschiebung der Objektivhälften geht auf einer vollkommenen, auf der Axe des Rohres genau senkrechten Ebene vor sich und können die Schieber bis auf einen Winkelwerth von etwa 56 Minuten nach jeder Seite der Axe verschoben werden, so dass man noch Winkel von 1° 52′ zu messen im Stande ist. Auch die für solche extremen Werthe etwas geringere Güte der Bilder ist zufolge der von Fraunhofer daraufhin eingerichteten Konstruktion der Objektive fast unmerklich, und er hat es für leichter erachtet, den Weg der Kompensation der Bilder ausser der Axe einzuschlagen, als den, die Verschiebung der Objektivhälften auf Cylinderführungen[1]) vor sich gehen zu lassen, damit dieselben stets konfokal bleiben, weil ihm die technische Ausführung der letzten Einrichtung zu grosse Schwierigkeit zu haben schien. Erst dem Scharfsinne der Repsolds ist es gelungen die Cylinderführung in mustergültiger Weise herzustellen.

Wie schon bemerkt, lassen sich die Objektivhälften jede für sich allein verschieben und die Messungen wurden thatsächlich sowohl von Bessel als auch von Anderen mit diesen Heliometern so ausgeführt, dass eine Hälfte des Objektivs unverrückt mit der Mitte in der Rohraxe stehen blieb, während die andere einmal nach der einen Seite und sodann nach der anderen Seite

---

[1]) Bessel hatte bei der Bestellung des Heliometers schon den Wunsch geäussert, die Bewegung der Objektivschieber auf einer Cylinderfläche vor sich gehen zu lassen.

verschoben (durchgeschraubt) wurde bis die resp. Bilder sich deckten. Dadurch werden aber die Bilder der zweiten Objektivhälfte nicht in der Axe des Fernrohrs erzeugt, und man muss, um die nöthige Symmetrie des Okulars zu den Axenstrahlen für beide Objektivhälften herzustellen, auch dieses senkrecht zur Axe verstellen können. Es befinden sich deshalb an den bisher besprochenen Heliometern besondere Einrichtungen am Okular, welche dieses seitlich und auch im Positionswinkel verschiebbar machen (30), (vergl. Fig. 564, Okularkopf eines der kleinen Heliometer). Das Okular ist auf einem besonderen Schieber befestigt, welcher auf einer mit Theilung versehenen Kreisplatte sitzt und diese dreht sich in einer Fassung des Okularkopfes. Die Schieberbewegung wird durch die Schraube S und die Klemmung in Position durch die Schraube K bewirkt. Es zeigt sich, dass durch die verschiedene Form der Bilder in verschiedenen Entfernungen der Objektivschieber kleine Korrektionen an die Distanzen anzubringen sind, die nach den Untersuchungen von Bessel, Auwers und Anderen etwa 0,3—0,4 Sek. bei extremen Distanzen betragen können. Da aber jetzt nur noch bei symmetrisch zur geometrischen Axe des Instrumentes verschobenen Objektivhälften und centraler Stellung des Okulars beobachtet wird, stellt sich diese Korrektion der Segmente („optische Verbesserung“) nur auf etwa 0,05—0,10 Sekunden für die mit geradliniger Führung versehenen Heliometer; für die mit Cylinderführung versehenen fällt sie aber ganz weg.[1])

Ausser der Bewegung senkrecht zur Axe des Fernrohrs lässt sich der ganze Objektivkopf noch um diese Axe drehen, damit man die Schnittlinie des Objektivs auch in die Richtung der Verbindungslinie der zu beobachtenden Gestirne bringen kann. Bei den in Rede stehenden Heliometern sowohl, als auch bei den kleinen Fraunhofer'schen ist das Objektivende des Rohres mit einem Zahnringe (23) versehen, welcher nach oben einen Ringansatz trägt, über den die Grundplatte des Objektivkopfes mit einer genau passenden Öffnung greift. Dieser wird gehalten durch eine an der Unterfläche des Zahnkranzes anliegende Ringfeder (25), die ihrerseits mit der Grundplatte durch mehrere Schrauben verbunden ist (ähnlich wie bei den Fraunhofer'schen Fadenmikrometern).

In die Zähne von (23) greift ein Trieb (26), welches vom Okular aus durch die Stange L''' resp. (27) bewegt werden kann, und dabei den Objektivkopf um die Rohraxe dreht. Der ganze Bewegungsmechanismus auf dieser Seite des Objektivkopfes wird auf der anderen Seite durch das Gewicht (29) äquilibrirt. Unterhalb des Zahnkranzes ist eine Theilung von 15′ zu 15′ angebracht (bei den kleinen Fraunhofer'schen Heliometern von Grad zu Grad), welche durch zwei resp. vier Verniers (28) abgelesen werden kann und so den P. W. der Verbindungslinien zu messen gestattet, wenn andererseits die Lage des Nullpunktes dieser Theilung gegen den Stundenkreis (der Indexfehler) bekannt ist.

Es ist offenbar, dass diese Konstruktion der Heliometer, so vollkommen sie auch zuerst erscheinen mochte, doch manche Mängel hatte, welche ja

---

[1]) Vergl. Battermann, Astron. Nachr., S. 120, 337 ff. — Auwers, Venusvorübergänge und des Verf. bez. Untersuchungen in dem III. Theile der Mittheilungen der Göttinger Sternwarte.

zum Theil schon früher angedeutet wurden. Namentlich stellte aber STRUVE in der Beschreibung des Pulkowaer Observatoriums mehrfache Desiderate auf, die bei Neukonstruktionen zu beachten sein sollten. Dahin gehören 1. Symmetrische Bewegung der Objektivschieber auf einer Cylinderfläche, 2. Drehung des ganzen Fernrohres um seine Axe zur Messung von Positionswinkeln, so dass Objektivkopf und Rohr in fester Verbindung mit einander und daher erheblich stabiler sind, 3. Ablesung an Skalen anstatt an Schrauben und diese Ablesung vom Okular aus bei unveränderter Fernrohrstellung, 4. Okular nur in der Axe verschiebbar, sonst aber fest mit dem Rohr verbunden.

B. Heliometer mit Cylinderführung.

a. Das Oxforder Heliometer.

Den Struve'schen Forderungen kamen die Gebrüder REPSOLD bei Gelegenheit des Baues des für das Radcliffe Observatory zu Oxford bestimmten grossen Heliometers nach, zu dem MERZ in München das Objektiv von 330 mm Öffnung und 3,20 m Brennweite lieferte. Die Fig. 568 stellt dieses Heliometer dar. Es dürfte von grossem Interesse sein, das Gesammtaussehen dieses Instruments sowohl, so wie die wesentlichen Theile mit denen der alten und der neuesten Heliometer zu vergleichen.

Das Heliometer wurde 1848 in Oxford abgeliefert, konnte aber erst im Oktober 1849 von ADOLPH REPSOLD selbst aufgestellt werden. In der ersten Zeit ist es von JOHNSON und MAIN vielfach benutzt worden, später wurden selten Beobachtungen damit gemacht, und nach 1875 ist es als Heliometer wohl kaum noch ernsthaft zur Anwendung gelangt.[1])

Es ist parallaktisch aufgestellt. Die stählerne Polaraxe ist 1,08 m lang, und hat am oberen Lager 120 mm und am unteren 100 mm Durchmesser; sie ruht in Lagern von Glockenmetall. Diese Axe ist durchbohrt, und in dieser Bohrung ruht eine zweite Axe an den Lagerstellen auf, welche die Deklinationsaxe mit der Polaraxe verbindet und zugleich die Gegengewichte (1) für die erstere trägt. Die letzte endet oben in einer 235 mm Durchmesser haltenden Flansch, an die eine Wiege mit Lagern an ihren Enden für die Deklinationsaxe angeschraubt ist. Dieselbe ist 1,02 m lang von Lager zu Lager und 127 mm dick. Sie ist auch hohl, um ihre Durchbiegung zu verringern. An einem Ende trägt sie die 1,54 m lange Wiege (2) in Gestalt eines ganzen Rohres, welches an dem oberen Ende etwas grösseren Durchmesser als am unteren Ende hat. Diese Enden werden durch Ringlager gebildet, in denen sich das ganze Fernrohr um seine Axe (in P. W.) drehen lässt. Das untere dieser Lager trägt die Indices für den unmittelbar darunter am Fernrohr befestigten Positionskreis (3) von über 300 mm Durchmesser. Das Fernrohr hat oben 330 mm und unten 234 mm Durchmesser, der Positionskreis steht vom Okularende um nahe 0,838 m ab.

---

[1]) Vergl. die Jahrgänge 1850 bis 1875, der „Astron. Observations made at the Radcliffe Observatory", Oxford, namentlich den ersteren, welcher die Beschreibung und Abbildung des Instrumentes enthält; diesem sind auch die hier gegebenen Daten und Zeichnungen entnommen.

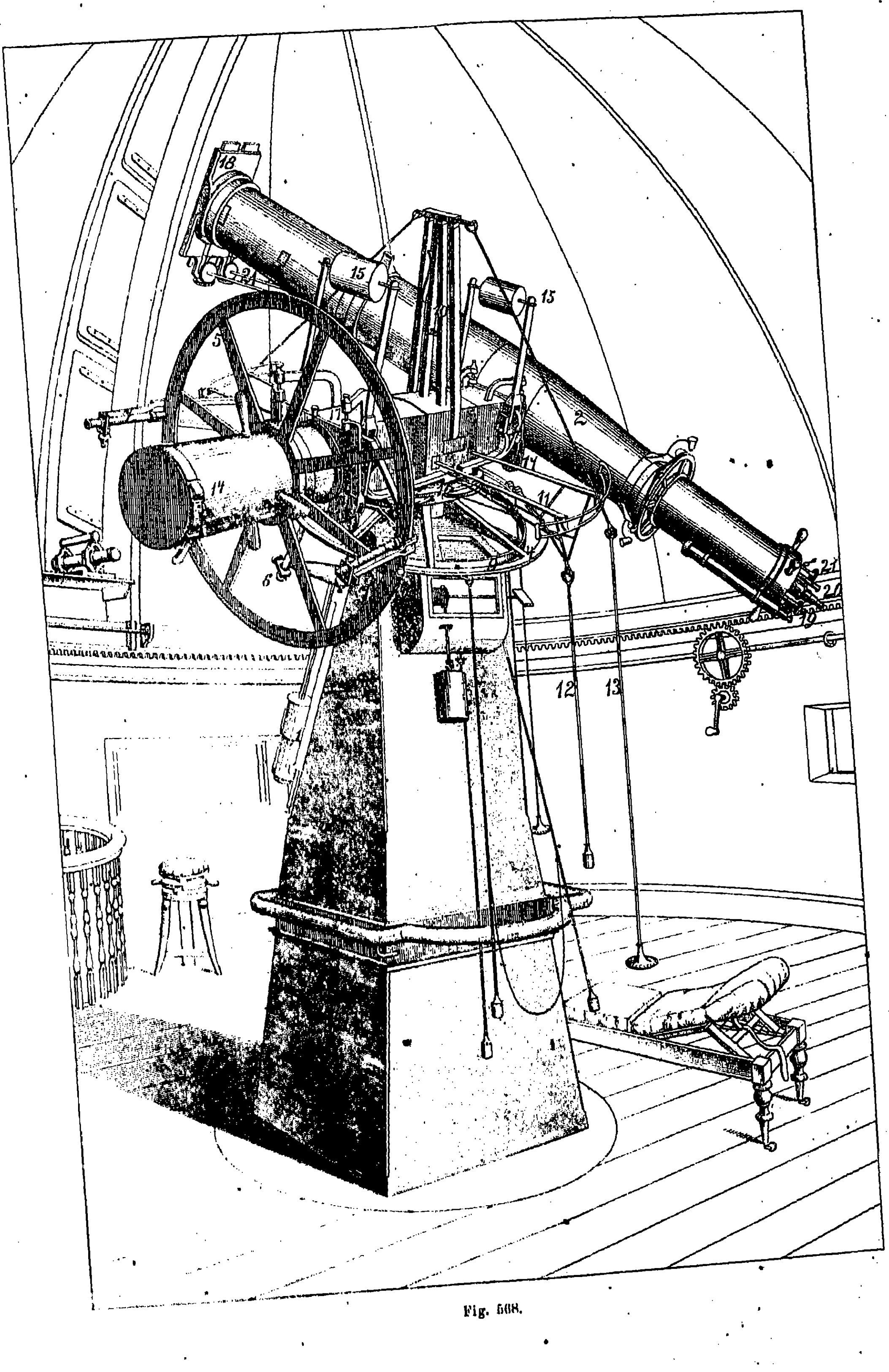


Fig. 568.

Der Stundenkreis (4) und der Deklinationskreis (5) haben beide fast einen Meter Durchmesser und können durch je zwei Mikroskope (6) resp. (7) abgelesen werden. Die Bewegung um die Polaraxe wird von einem mittelst eines Centrifugalregulators geregelten Triebwerke (8) bewirkt und auf die Stundenaxe durch den mit dem Stundenkreis koncentrischen Zahnring (9) übertragen.

Der Aufbau (10) enthält die Feinbewegung für die Deklinationsaxe und (11) die zugehörige Klemme, während (12) und (13) die entsprechenden Schlüssel für die Stundenaxe sind; (14) ist das Gegengewicht für das Fernrohr und (15) sind Gewichte für die Äquilibrirungshebel, welche durch die Friktionsrollen bei (16) und (17) zugleich mit dem Gewichte (1) auf die betreffenden Axen wirken. In Fig. 569 ist der Objektivkopf (18) von vorn gesehen besonders dargestellt. Die zwei Hälften des Objektivs E und F sind auf den starken Messingplatten A A und B B von 559 mm Länge und 114 mm Breite befestigt; diese werden auf der Grundplatte zwischen den Führungen

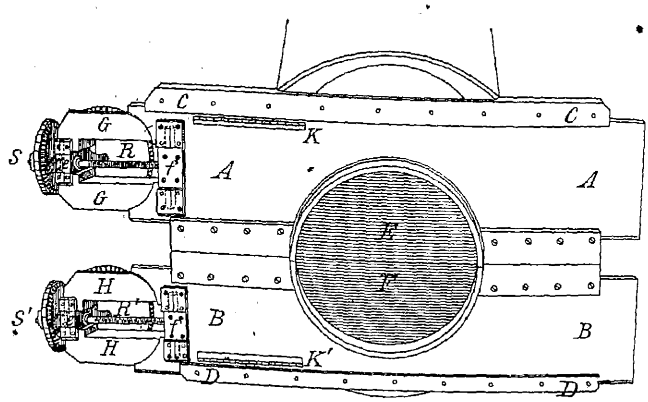


Fig. 569.

C C und D D mittelst der Schrauben S und S′ bewegt. Die gabelähnlichen Ansatzstücke G G, H H sind Verlängerungen der Grundplatte und dienen als Stützen für die Führung der Schrauben. Damit die Objektive bei ihrer Bewegung dieselbe Entfernung vom Fokus des Okulars behalten, sind, wie oben bemerkt, sowohl die Schieber, als die Grundplatte nach einem Radius, welcher der Brennweite gleich ist, gekrümmt. Die Bewegungsschrauben S u. S′ haben, damit bei der Fortbewegung der Schieber keine Klemmung eintritt, sowohl bei e eine bewegliche Führung, als auch bei f Muttern, welche sich um Axen, die in der Schieberfläche liegen, drehen können, wie es in beiden Fällen durch die punktirten Linien angegeben ist. Diese Schrauben können vom Okularende aus durch die Übertragungsräder R und R′ mittelst der Schlüssel (21) Fig. 568 bewegt werden. Die Schieber können nach beiden Seiten von der optischen Axe um je $1^1/_8{}^0$, jeder für sich bewegt werden. Die Grösse dieser Bewegung kann bei dem Oxforder Instrument nicht nur durch die Skalen K und K′, welche auf der Oberseite der Schieber angebracht sind, wie bei dem Königsberger Instrument, abgelesen werden, sondern es sind ausserdem auch noch Skalen auf der Innenseite der Schieber angebracht, welche mittelst des

Mikrometermikroskopes (19), vom Okularende aus abgelesen werden können. Letztere Einrichtung ist in Oxford ausschliesslich benutzt worden.

Die Beleuchtung der Skalen wurde durch einen glühenden Platindraht erzielt, welcher einen kleinen Theil der Leitung eines galvanischen Stromes bildete, der durch eine Batterie von Grove'schen Elementen erzeugt wurde. Es war Vorsorge getroffen, dass auch bei den Bewegungen des Instruments der Stromschluss gewahrt blieb (vergl. die betreffenden Einrichtungen an den neueren Heliometern).

b. Das Heliometer des Lord Lindsay und die der russischen Venusexpeditionen.

Das Oxforder Heliometer ist das erste einer neuen Reihe solcher Instrumente, welche nun ausschliesslich aus der Repsold'schen Werkstätte hervorgegangen sind und in dem neuesten Exemplare, welches für die v. Kuffner'sche Sternwarte gebaut wurde, eine ausserordentliche Vollkommenheit erreicht haben. Das zunächst nach dem Oxforder hergestellte Heliometer war ein solches für Lord Lindsay, welches er auf eigene Kosten zur Beobachtung des Venusdurchganges auf Mauritius 1874 hatte bauen lassen. Gleichzeitig mit den Veränderungen an den kleinen Fraunhofer'schen Heliometern wurde dieses Instrument gebaut. Fig. 570 stellt dasselbe dar. Im Wesentlichen sind die Einrichtungen die des Oxforder, nur die Gesammtanordnung ist eine weit kompendiösere, gefälligere und zweckmässigere und es ist auch bezüglich der parallaktischen Aufstellung so eingerichtet, dass die Polaraxe für verschiedene geographische Breiten eingestellt werden kann. Neu ist an diesem Heliometer, wie an den kleinen Fraunhofer'schen, nur die gleichzeitige symmetrische Verschiebung beider Objektivhälften, sodass die axialen Strahlen immer unter gleichen Winkeln zur Fernrohraxe gerichtet sind. Eine genaue Beschreibung dieses Heliometers mit vielen Detailzeichnungen findet sich in dem II. Bande der Beobachtungen zu Dun Echt.[1]) Da im Ganzen die Anordnung schon sehr ähnlich den späteren grösseren Heliometern ist, kann hier füglich von einem näheren Eingehen abgesehen werden, vielmehr wird die Fig. 571 an der Hand der weiter unten folgenden Beschreibung des Kap-Heliometers und des Göttinger, sowie des Wiener Heliometers ohne Weiteres verständlich sein. In ganz ähnlicher Ausführung fast gleichzeitig wie dieses Heliometer wurden zwei solche Instrumente ebenfalls zur Beobachtung des Vorübergangs der Venus vor der Sonnenscheibe für die russische Regierung gebaut. Dieselben befinden sich gegenwärtig in Kasan und in Dorpat und haben ähnliche Dimensionen wie das des Lord Lindsay, nämlich bei nahe 110 mm Öffnung eine Brennweite von nahe 1,7 m. Bei diesen Heliometern bewegen sich die Objektivhälften in Cylinderführung, das Okular ist nicht seitlich verschiebbar und die Positionswinkel werden durch Drehung des ganzen Rohres in einem besonderen Wiegenlager gemessen. Zur Vergleichung heller und schwacher Sterne mit einander ist im Gegensatz zum Oxforder

[1]) Dun Echt Observatory Publications, Bd. II: Mauritius Expedition 1874, London 1877.

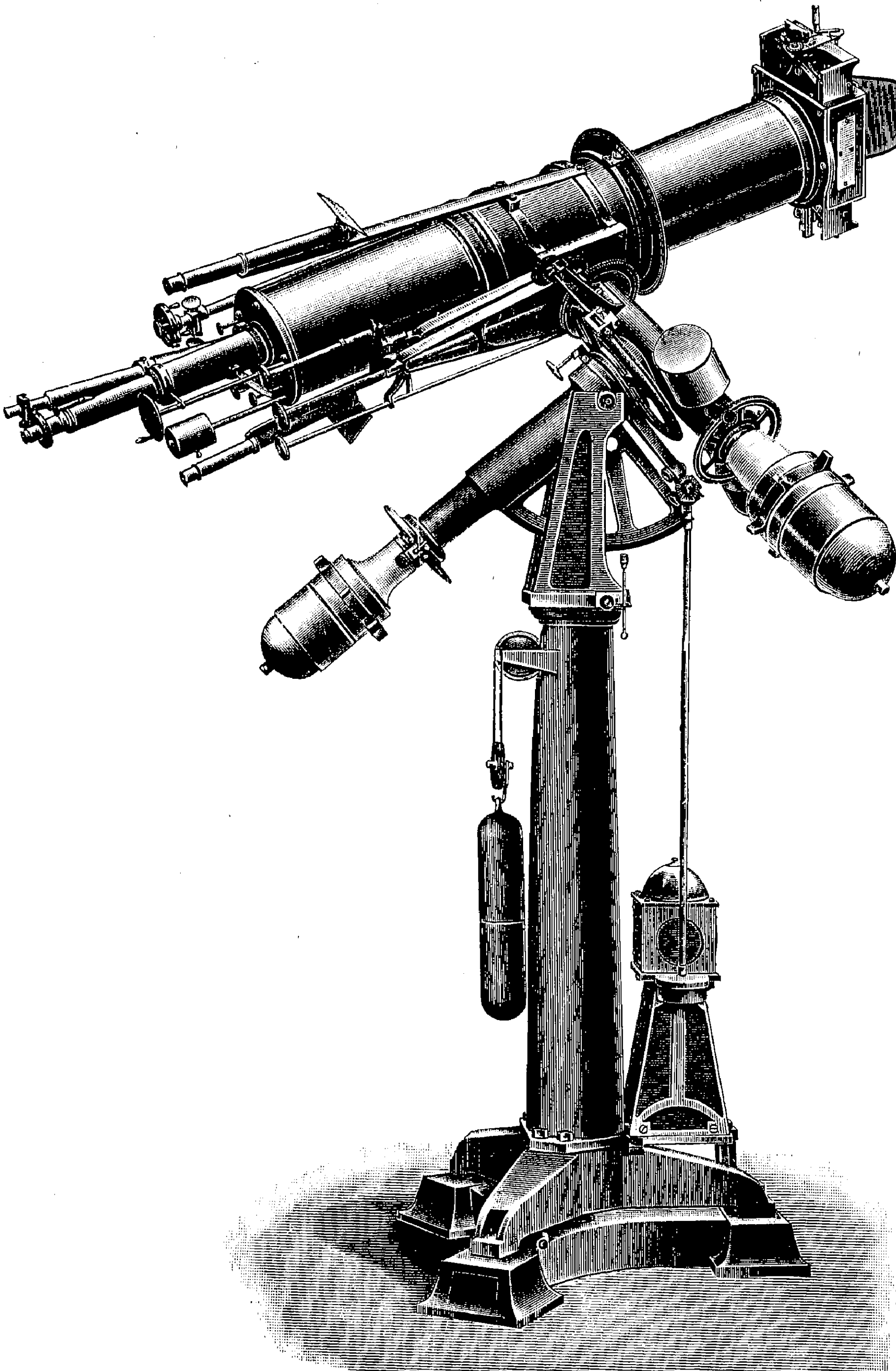


Fig. 570.

Heliometer ein Gitter vor dem Objektiv angebracht, Fig. 570, welches sich vom Okular aus je nach Bedarf vor die eine oder vor die andere Objektivhälfte klappen lässt und dadurch je eine der Linsenhälften so gleichmässig

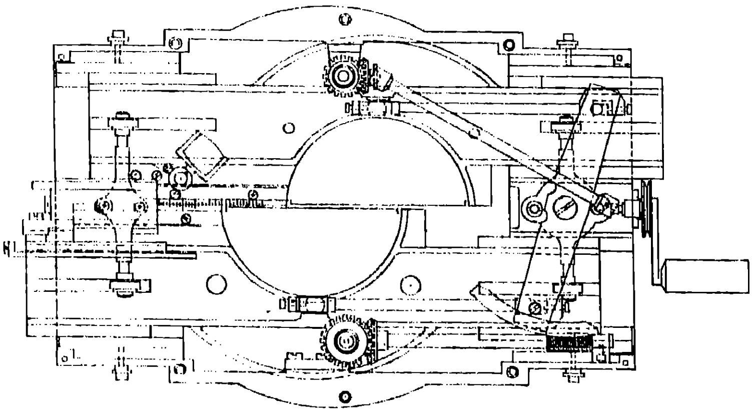


Fig. 571.
(Nach den Dun Echt Publications Bd. II.)

abblendet, dass weder die Qualität des durch sie erzeugten Bildes, noch dessen Ort in oder neben der Axe eine Änderung erleiden kann.[1])

e. Die Heliometer der Sternwarten in New Haven, am Kap, Göttingen, Bamberg und Leipzig.

Nachdem im Jahre 1874 die Heliometer sich bei der Messung der Abstände der Venus vom Sonnencentrum im Ganzen in der ihnen gegebenen Einrichtung gut bewährt hatten[2]) (namentlich die deutschen und das englische, während von den Resultaten der russischen noch nichts bekannt ist), wurde zunächst für die Sternwarte des Yale-College in New Haven (Vereinigte Staaten von Nord-Amerika) ein grösseres Heliometer gebaut. Fig. 572 zeigt dieses Instrument in Gesammtansicht. Dasselbe besitzt, abgesehen von der Beleuchtungseinrichtung, die hier noch als durch Öllampen hervorgebracht dargestellt ist (später ist ebenfalls elektrische Beleuchtung eingerichtet worden), schon ganz die Anordnung der neuen Instrumente, die um die Mitte der 80er Jahre für die Kap-Sternwarte, für Göttingen, Bamberg und Leipzig gebaut wurden, und welche, abgesehen von unwesentlichen Dingen, ganz die gleiche Konstruktion, wenn auch nicht genau dieselben Dimensionen und Objektivöffnungen besitzen. Die Objektive sind von Reinfelder & Hertel, Merz oder Steinheil in München. Im Nachfolgenden soll das Göttinger Instrument und das der Kap-Sternwarte (namentlich das letztere nach den in

[1]) Versuche haben erwiesen, dass bei der Abblendung einzelner Theile der Objektivhälften, mag es nun koncentrisch oder segmentweise geschehen, eine solche Änderung wohl eintreten kann.

[2]) Vergl. darüber das im Auftrage der Venuskommission von A. Auwers herausgegebene Werk über die bei Gelegenheit des Vorüberganges der Venus vor der Sonnenscheibe angestellten Beobachtungen.

der englischen Zeitschrift „Engineering“ gegebenen Abbildungen) dargestellt und mit Bezug auf das letztere Instrument ausführlich beschrieben werden. Daran wird sich das neueste Instrument dieser Art, dasjenige der

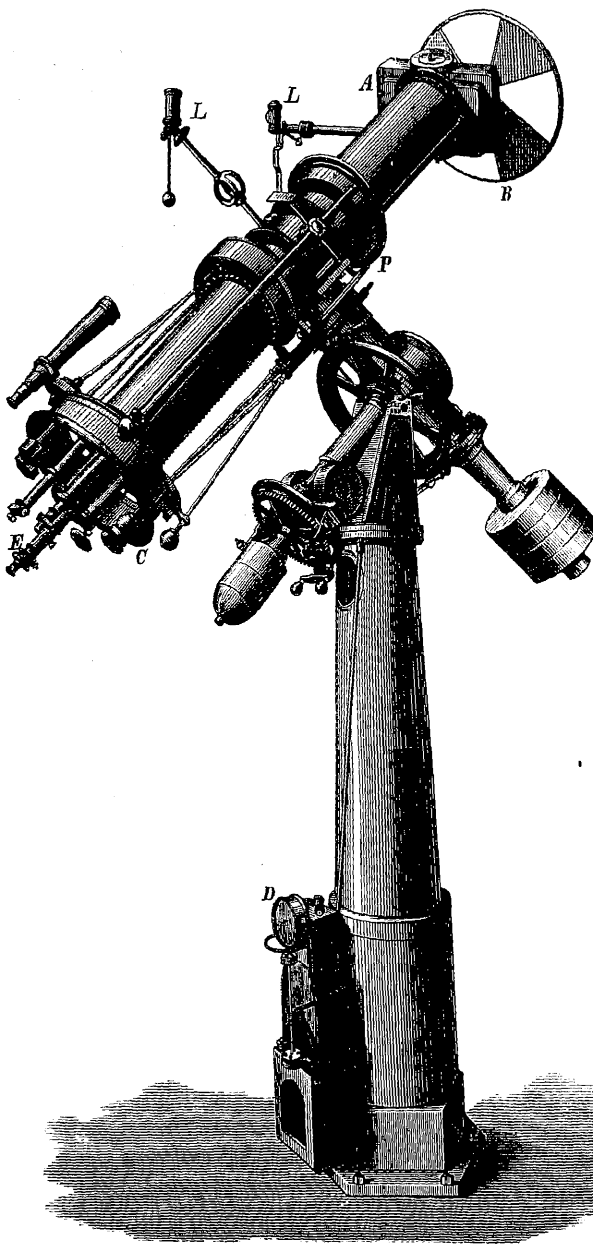


Fig. 572.

v. Kuffner'schen Sternwarte, welches von etwas grösseren Dimensionen und bezüglich der Objektivführungen von etwas anderer Anordnung ist, noch kurz anreihen, um so einen Abriss des Entwicklungsganges dieser höchst

interessanten Instrumentengattung vor Augen zu haben, der zugleich die Vervollkommnung der technischen Einrichtungen bei astronomischen Instrumenten erkennen lässt.

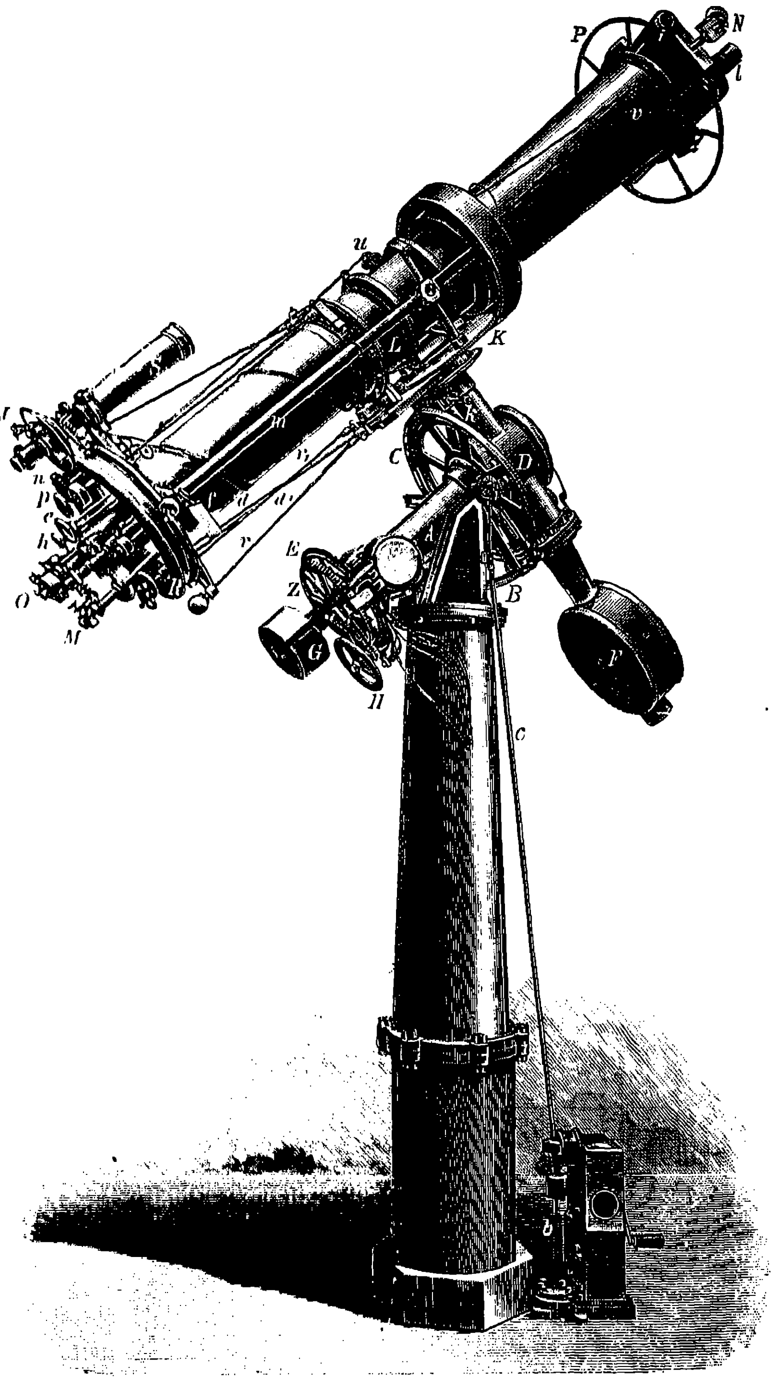


Fig. 578.

Das Objektiv des Heliometers der Kap-Sternwarte hat 190 mm Öffnung und beinahe 2,6 m Fokallänge. Es unterscheidet sich von dem des Yale-Colleges, abgesehen von seiner Grösse, namentlich durch Einführung der elektrischen Beleuchtung aller Theilungen und des Gesichtsfeldes, Verbesserung der Bewegung um die optische Axe, sowie durch die Anbringung eines besonderen Mikroskopes zur Untersuchung der Theilung der Objektivskalen.

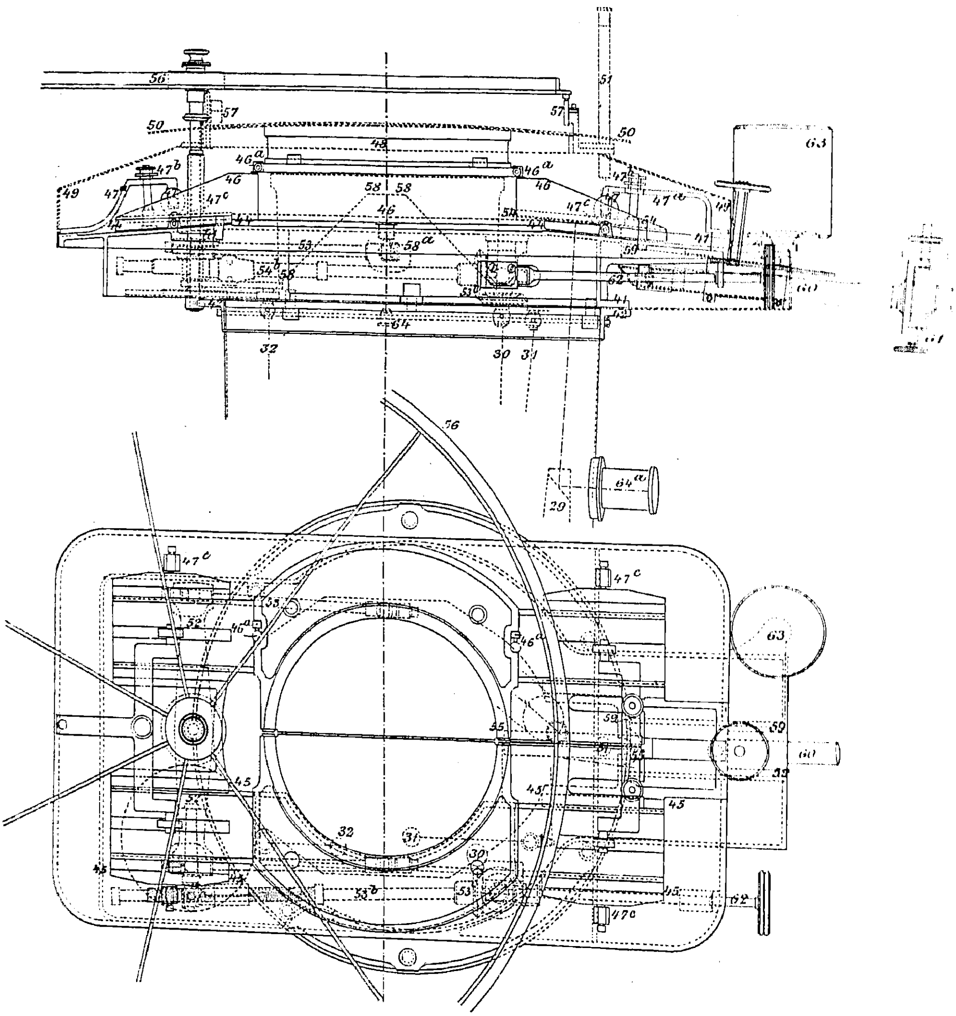


Fig. 574.
(Nach „Engineering“ 1890.)

Die Montirung des Instruments ist die gewöhnlich bei Äquatorealen der Repsold'schen Werkstätte gebräuchliche, nur hat der besonderen Bestimmung entsprechend das Heliometerfernrohr, wie es schon beim Oxforder Instrument der Fall ist, noch eine Bewegung um die optische Axe, um der Bewegungsrichtung der Objektivhälften jede beliebige Richtung im Raume geben zu können.

Die Fig. 573 stellt das Kap-Heliometer in Gesammtansicht dar; Fig. 574 den Objektivkopf mit seinen einzelnen Theilen, welche die Bewegung der Objektivhälften bewirken; Fig. 575 das Okularende des Instruments mit den Einrichtungen für die Befestigung der Ablesemikroskope und der Führung der verschiedenen Bewegungsschlüssel, während Fig. 576 das Detail der Rotation um die optische Axe, sowie einige Theile der Einrichtungen zur Feinbewegung des Instrumentes darstellt. Die Einzelbezeichnungen in den verschiedenen Specialfiguren sind für dieselben Theile gleichmässig gewählt, so dass die Beschreibung auf alle Figuren zugleich bezogen werden kann.

Auf dem oberen Theile der Säule, welcher auf einer breiten Kugelkalotte mit zwei festen und einem in der Nordrichtung gelegenen verstellbaren Fusse ruht, ist ein Aufsatz angebracht, welcher die Stundenaxe derart trägt,

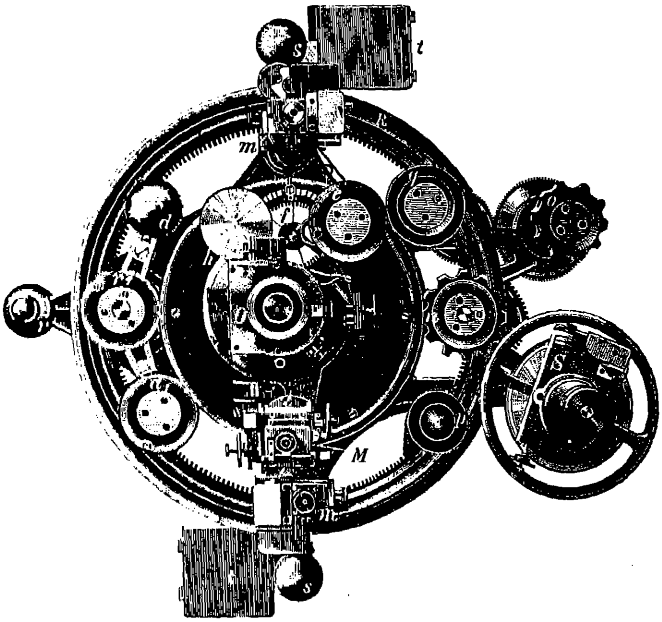


Fig. 575.
(Nach „Engineering" 1890.)

dass die sie aufnehmende Büchse A mit zwei Zapfen aufliegt, um ihr verschiedene Neigung gegen den Horizont geben zu können, wie es die etwaige Verwendung des Instrumentes in verschiedenen geographischen Breiten erfordern würde. Demgemäss ist auch die Übertragung des Triebwerkes so angeordnet, dass an dem Ende eines der erwähnten Zapfen ein Kronrad sitzt, in welches ein zweites auf dem Uhrgestänge c angebrachtes eingreift. Bei Drehung um den Zapfen wird also keine Störung der Uhrbewegung eintreten können. An der Stundenaxe selbst ist am oberen Ende das Uhrrad C befestigt, in dessen eingekerbtem Rande die Schraube ohne Ende eingreift. (Der eingekerbte Rand selbst ist zum Schutze mit einem Messingstreifen überspannt, welcher an der Führung der Schraube befestigt ist.) Diese vermittelt die Uhrbewegung durch das erwähnte Kronrad und das

Gestänge c. Das Uhrrad sitzt frei auf der Polaraxe, hat aber einen breiten, dünnen, büchsenähnlichen Ansatz, welcher durch eine Ringklemme k umspannt wird. Wird diese Klemme mittelst der Schraube (5a), Fig. 576, zusammengepresst, so verbindet sie das Uhrrad fest mit der Stundenaxe, und das Uhrwerk kann das Instrument in Drehung versetzen (vergl. darüber die Repsold'sche Montirung der Äquatoreale). Die Feinbewegung vermittelt die Schraube (7). Am unteren Ende der Polaraxe ist ein von 1^m zu 1^m getheilter Stundenkreis Z angebracht, welcher mittelst zweier Mikroskope abgelesen werden kann. Die freie Drehung der Stundenaxe vermittelt das Handrad H.[1])

Die Deklinationsaxe entspricht in ihrem Bau auch ganz dem Typus der Repsold'schen Äquatoreale (siehe dort); sie ist in der Büchse D gelagert und trägt an dem einen Ende die ringförmige Wiege für das Fernrohr, während sie mit der anderen in einer besonderen Führung dieser Büchse sitzt, welche ihre Lage in jeder Stellung des Instruments sichert. Das für Ausbalancirung des Fernrohrs nöthige Gewicht F ist mit der Büchse der Deklinationsaxe, nicht mit dieser selbst, durch eine besondere Verschraubung verbunden. K (13)[2]) ist der Deklinationskreis, welcher durch zwei halbkreisförmige Schutzbleche so weit bedeckt ist, dass er nur für die mittelst der Mikroskope (37) ablesbaren Indices bei (66) eine Durchsicht gewährt. Die Klemmung in der Deklination findet ebenfalls durch eine starke Ringklemme (14) statt, welche durch eine Schraube (18) und das Gestänge d vom Okular aus zusammengepresst werden kann. Die Feinbewegung wird durch die Schraube bei (15) und ihren Schlüssel d_1 (19) vermittelt (vergl. Äquatoreale). Die beiden Schlüssel r (20) und r_1 (21) setzen Klemmung und Feinbewegung für die Rektascension in Bewegung und zwar durch Übertragung mittelst der Zahnräder (22) und (23), welche ihrerseits in die gezähnten Ringe (24) und (25) in geeigneter Weise eingreifen, vergl. Fig. 498 (Feinbewegungen). Für die Messungen mit den Heliometern ist es aber, wie schon bemerkt, nöthig, dass auch das Objektiv resp. das ganze Fernrohr um seine optische Axe

---

1) Am Kap-Heliometer ist die Polaraxe noch weiter nach unten fortgesetzt und trägt dort ein Gegengewicht G, welches aber bei den späteren Montirungen nicht mehr vorhanden ist (vergl. Göttinger Heliometer, Fig. 578). Die Entlastung der Polaraxen-Führung wird hier durch ein Paar gekuppelte Friktionsrollen erzielt, welche an dem kurzen Arm eines Hebels sitzen, dessen anderer Arm durch die Gewichte g herabgedrückt wird. Eine weitere Entlastung in Richtung der Polaraxe findet durch ein kleines Stahlrädchen in der Nähe des unteren Endes der Axe statt; dort stützt sich dieselbe mit einem Flansch gegen dieses Rädchen. Die Polaraxe ist ausserdem in ihrer ganzen Länge durchbohrt, um die zur elektrischen Beleuchtung des Deklinations- und Positionskreises, sowie der Objektivskalen nöthigen Leitungen hindurch führen zu können. Diese stehen mit den festen Drähten durch die zwei isolirte Ringe von Platindraht tragende, kleine Gleitrinne am unteren Ende von G in leitender Verbindung. Eine auf Wunsch Dr. Gills ausgeführte Einrichtung zur photographischen Fixirung der Skalenablesungen, die dem Instrument beigegeben war, hat sich nicht bewährt und ist deshalb durch die jetzt sehr viel im Gebrauch befindliche Registrirvorrichtung für Mikrometerablesungen von Repsold ersetzt worden.

2) Genaueres über den Bau der Axen und ihre Verbindung ist bei den Repsold'schen Äquatorealen zu finden. Bei Doppelbezeichnung der Instrumenttheile beziehen sich die Buchstaben auf die Fig. 573.

gedreht werden kann, und hier tritt nun zu der gewöhnlichen Äquatoreal-Montirung noch diese neue Forderung hinzu. Dieselbe ist in folgender Weise gelöst: Das eigentliche Fernrohr ist in seiner Mitte in einer genau gearbeiteten Büchse (16), welche die Wiege darstellt, in der Weise drehbar gelagert, dass es mit einem Mittelstück in dieser Büchse gegen Bewegungen in der Richtung der optischen Axe gesichert, läuft. Die Fig. 576 lässt diese Anordnung zum Theil im Durchschnitt erkennen. Der Umstand, dass gleichzeitig mit dem Fernrohr auch das zur Ablesung der Skalen dienende Mikroskop (29), die Bewegungsschlüssel (30, 31 und 32) für die Objektivschieber und das Blendenrad mit herumgeführt werden müssen, veranlasste Repsold, das Fernrohr selbst etwas excentrisch in diese Büchse zu legen, was natürlich für die Verwendung des Instruments ganz ohne Belang ist.[1]) Das Mittelstück (33) des eigentlichen Fernrohres passt genau in die an ihren Enden etwas verstärkte Büchse (16) und hat an seinem dem Objektive zugewandten Ende eine breite Flansche, welche auf drei Friktionsrollen, von denen in (35), eine sichtbar ist, aufruht, die von einem mit der Büchse verbundenen Ringe getragen werden. Auf diesen Rollen ruht für gewöhnlich bei aufwärts gerichtetem Instrumente das eigentliche Fernrohr, während es am unteren Ende durch einen besonderen Ring geführt und sicher gehalten wird, sodass selbst bei nach unten gekehrtem Objektiv keinerlei Gefahr besteht.

In Fig. 576a, welche eine Ansicht senkrecht zur optischen Axe darstellt, ist die excentrische Lage des Fernrohrs (34), resp. des Okularendes desselben gut sichtbar. Das Mikroskoprohr (29), sowie die Bewegungsschlüssel (30, 31 und 32) sind im Durchschnitt zu sehen; sie treten in der Ebene der Zeichnung aus dem Mitteltheile des Fernrohrs heraus und haben ihre Führung am Okularende in besonderen Ansätzen,[2]) vergl. Fig. 575. Das Okulartheil des Fernrohrs ist umgeben von einem Stahlrohre (36), welches einmal zum Schutze des ersteren dient, dann aber namentlich zur Aufnahme der Führungen der Bewegungsschlüssel für die Bewegungen und Klemmungen in Rektascension, in Deklination und für die Rotation um die optische Axe (für die Positionswinkelmessungen) und für alle anderen Theile, welche an der letzten Bewegung nicht Theil zu nehmen haben. Auch der Sucher S, Fig. 573, ist an diesem Theile befestigt.

Die Klemmung der Positionsbewegung geschieht durch den Schlüssel (78) und den an dem Verbindungsstück zwischen Büchse und Schutzrohr angeschraubten Theil (78a). Der Bewegungsschrauben für Position sind es im ganzen drei, eine p (79) für Feinbewegung bei geklemmtem Fernrohr und

[1]) Diese excentrische Lage machte sich aber dadurch unangenehm fühlbar, dass bei den Fokusirungen auf einen Kollimator von verhältnissmässig kleiner Öffnung, wie dieselbe früher in Göttingen ausgeführt werden sollte, und auch bei den Bestimmungen des Indexfehlers des Positionskreises sehr verschiedene Theile des Kollimator-Objektivs zur Benutzung gelangten. Es hat sich aber weder diese Art der Fokusirung bewährt, noch werden jetzt die Indexfehler-Bestimmungen auf dem Kollimator ausgeführt, sondern beides geschieht in viel zweckmässigerer Weise an cölestischen Objekten.

[2]) Bei einigen Heliometern befindet sich wie hier in (83) ein ganzer Ring am Okularende, der auch zugleich die schnelle Bewegung in Position vermittelt.

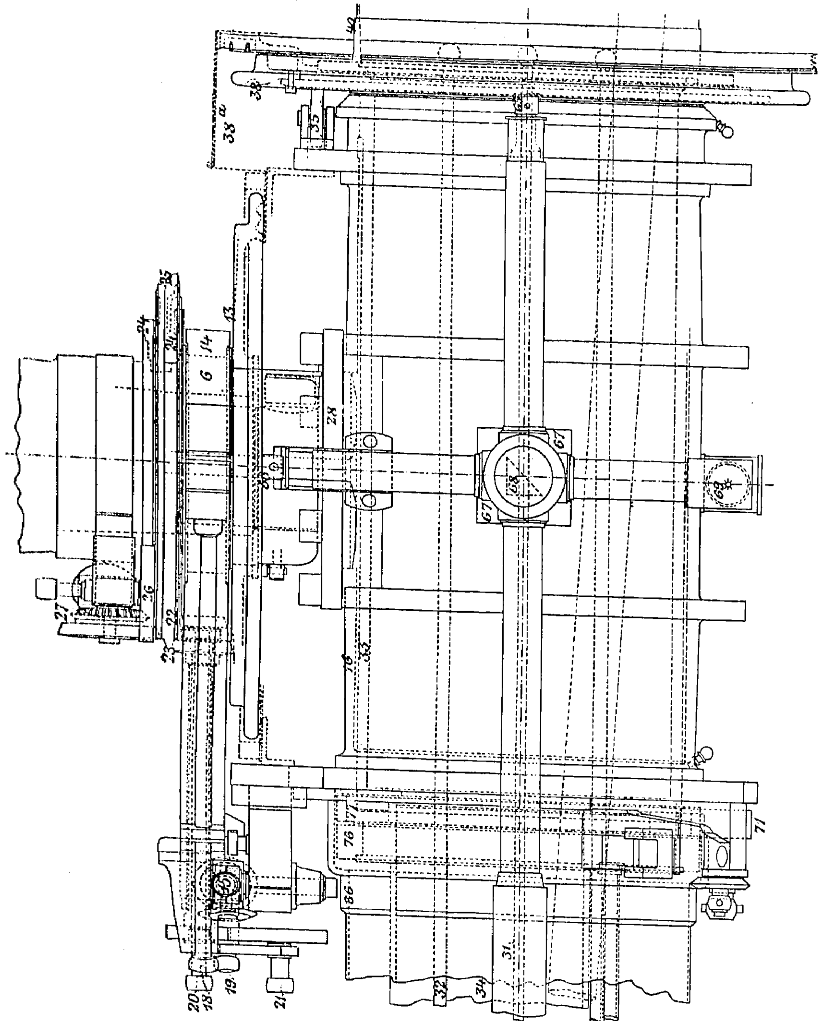


Fig. 576b.

(Nach „Engineering“ 1890.)

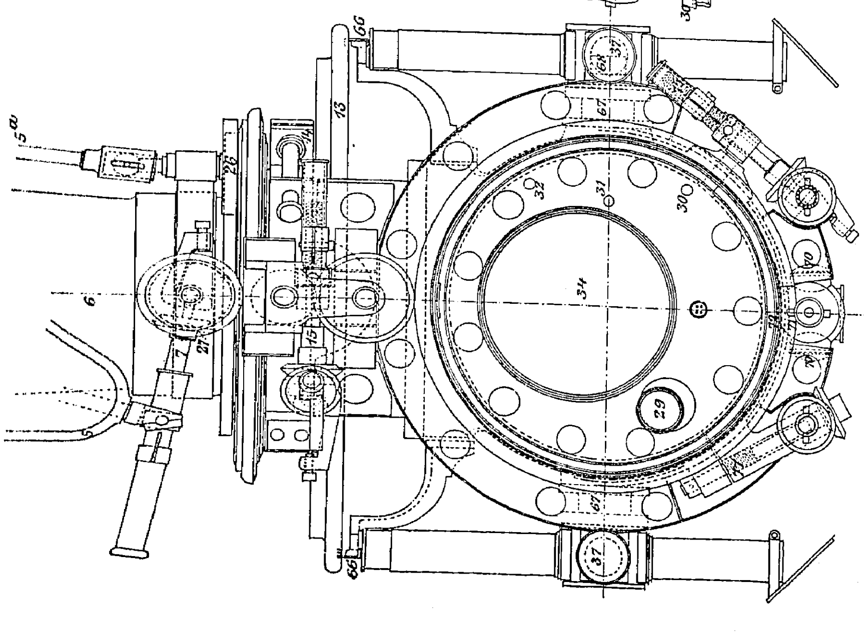


Fig. 576a.

zwei n (74) und (80) resp. der gesammte Ring R (73) für eine langsame und eine schnelle Drehung in Position, wie es für die Messungen grösserer und kleinerer Distanzen und für eine schnelle Drehung um 180° erforderlich ist. In dem unteren Theil des Fernrohrs ist der Okularauszug eingesetzt und dessen Verschiebung darin, welche durch eine längs des Rohres liegende Schraube mit hohem Gewindegang bewirkt wird, an einer Millimeterskala ablesbar. Damit kann die jeweilig nöthige, von der Temperatur etwas abhängige Stellung des Okulars vorgenommen werden. Im Okularrohr ist eine Fadenplatte im Kasten O, Fig. 575, durch eine Schraube derart beweglich, dass das auf ihr angebrachte einfache Fadenkreuz und auch ein aus breiten Metalllamellen bestehendes Doppelkreuz von der Form # in das Gesichtsfeld gebracht werden kann. Beide dienen zur Fixirung der optischen Axe einmal bei Aufstellungsbeobachtungen und das andere Mal durch Einstellung der beiden Bilder in das mittlere Viereck; denn Positionswinkelmessungen sind nahe in der Mitte des Gesichtsfeldes vorzunehmen, was namentlich in höherer Deklination wegen der Korrektion des gemessenen Positionswinkels für Aufstellungsfehler wichtig ist. Drei Okulare von verschiedener Vergrösserung lassen sich in einer weiteren vorgeschraubten Hülse einsetzen und verschieben. Es kann dann auch mittelst dieser auf das einfache Fadennetz fokusirt werden, wenn man diese Art der Einstellung auf deutliche Sehweite der direkten Fokusirung auf Doppelsterne oder dergl. vorzieht. Eine zweite, feinere Bewegung des Okulars längs der optischen Axe kann an einem kleinen Kreise an der Okularplatte abgelesen werden, da diese mit einem Gewinde von 1 mm Ganghöhe in einer zweiten Ringplatte am Okularende drehbar befestigt ist. Ein Index an letzterer gestattet die Verschiebung bis auf $^1/_{1000}$ mm leicht zu bestimmen, eine Radialklemmschraube sichert die Stellung des Okulars.

Das Objektivende des Fernrohrs ist etwas konisch, um bei der Schwere des Objektivkopfes eine grössere Sicherheit gegen Durchbiegung zu bieten. Dieses Rohr ist an dem centralen Theile bei (40), Fig. 574, festgeschraubt; an der Verbindungsstelle beider befindet sich auch der Positionskreis (38). Seine Theilung ist nach dem Okularrohre gerichtet und wird bedeckt durch einen Blechring (38a); derselbe ist befestigt an einem zweiten Ring von Messing, welcher gleichfalls an dem Mittelstück des Fernrohrs angeschraubt ist und die Schleifkontakte für die Skalenlampe in Gestalt von zwei eingelegten Platindrähten trägt; auf diesen Drähten schleifen von unten zwei Federn (in der Figur nicht sichtbar). Der komplicirte Objektivkopf selbst ist mittelst eines genau abgedrehten Ansatzringes (42) an einem gleichen des Rohres aufgeschraubt, Fig. 577, sodass selbst bei einer Abnahme desselben ein ganz sicheres und identisches Aufschrauben erfolgen kann.[1]) Der gusseiserne Haupttheil des Stückes (42) hat an seiner oberen Fläche die Auflager (44) für die Schieber der Objektivhälften (46). Diese Flächen sind cylindrisch abgedreht, nach einem Radius gleich der Brennweite des Objektivs, so dass

[1]) Erfahrungen in Göttingen haben die Sicherheit dieser Manipulation vollauf bestätigt.

auch bei jeder Entfernung aus der Koincidenzlage die Hälften doch gleichen Abstand von dem Brennpunkte des Okulars behalten. Die Berührungsflächen zwischen Schieber und Lagerstück sind nur schmal (etwa 1 cm breit) und setzen sich aus je zwei einen rechten Winkel bildenden Theilen bei (45) zusammen. Auf je vier der Ebene des unteren Theiles der Fig. 574 nahe parallele Theile werden die Schieber durch die mit den Rollen (47) versehenen Federarme (47 a), welche eine vermehrte oder verringerte Spannung durch die Schrauben (47 b) erhalten können, niedergedrückt. Die die Objektivhälften tragenden Schieber (46) selbst sind aus Gusseisen und so geformt (Rippensystem), dass sie bei möglichst geringer Schwere grosse Steifheit besitzen. Auf dem einen davon ist die eine Objektivhälfte unveränderlich aufgeschraubt, während die des anderen Schiebers mittelst der Korrektionsschraube (46 a) senkrecht zur Schnittfläche etwas verschoben werden kann, damit die optischen Mittelpunkte beider Objektivhälften möglichst sicher zur Koincidenz gebracht werden können,[1]) was das Zusammenfallen der von beiden Hälften erzeugten Bilder bedingt. Nach vorgenommener Korrektur kann aber auch diese Hälfte mit dem betreffenden Schieber fest verschraubt werden. Die schon bei den älteren Fraunhofer'schen Heliometern nachträglich (1872) eingerichtete symmetrische Verschiebung beider Objektivhälften ist auch bei allen späteren Instrumenten dieser Art beibehalten worden, da sie grosse Vortheile gewährt. Hier wird sie bewirkt durch den Hebel (52) und die mit ihm in ihren Verbindungsstellen durch Kugelgelenke frei beweglichen Stangen (53), welche auch mit den Objektivschiebern durch ein ganz ähnliches Kugelgelenk (53 a) verbunden sind. Der eine Arm des erwähnten Hebels setzt sich über das Kugellager der Stange (53) hinaus noch weiter fort und nimmt an diesem Ende das Lager und die Mutter für die eigentliche Bewegungsschraube (53 b) auf. Aus Fig. 574 ist deren Eingriff ersichtlich; am anderen Ende ist ein Kegelzahnrad angesetzt, welches in ein gleiches Kegelrad (53 c) eingreift, dadurch kann vom Okular aus die Bewegung der Schieber durch die Stange (30) und die Scheibe e erfolgen, ausserdem können aber auch durch den Griff (62) dieselben vom Objektivende aus bewegt werden. Diese letztere Anordnung ist namentlich deshalb getroffen, um mit dem Mikroskop (60) die Untersuchung der Theilung ausführen zu können. Das Letztere ist mit dem Mikrometerkopf (61) versehen und kann durch eine Schraube mit Trieb und Eingriff in eine Zahnstange längs der Theilung bewegt werden, deren Bild durch das vorgesetzte Prisma in das Mikroskop gebracht wird.[2]) Die Beleuchtung der Schieberskalen wird beim Beobachten mittelst des Mikroskopes M (29) durch die Glühlampe (64 a) erzielt, deren Licht durch Prismen rechtwinklig gebrochen wird; für die Untersuchung der Theilungsfehler ist aber eine besondere Glühlampe auf dem Schlitten des Mikroskopes (60) angebracht.

[1]) Diese Korrektur muss ab und zu einmal ausgeführt werden, da sich die Fassungen mit der Zeit doch etwas lockern. Auch ist nicht in allen Lagen des Objektivs die Koincidenz konstant.

[2]) Diese Methode der Untersuchung der Theilungsfehler für die Schiebertheilungen in situ dürfte doch wohl einer solchen nach Abnahme der Schieber vorzuziehen sein; weniger wegen etwa dabei auftretender Unterschiede als wegen ihrer Bequemlichkeit.

Diese Lampen sowohl als auch diejenige, welche den Deklinations- und Positionskreis erleuchtet und bei (59) an der Rohrbüchse befestigt ist, bekommen den Strom durch vier Leitungsdrähte zugeführt, welche durch die Deklinationsaxe gehen und von denen zwei sich über die am äusseren Okularrohre in der Nähe des Suchers angebrachte Umschalter nach der Lampe (59) fortsetzen. Die anderen beiden Drähte endigen in zwei Gleitfedern, welche mit den beiden isolirten Platinreifen in Verbindung stehen, die sich auf dem hinter dem Positionskreise angebrachten Schutzringe befinden (vergl. oben). Diese sind wiederum mit einem Umschalter am Okularende des Fernrohres, also am drehbaren Theile desselben in Verbindung und führen von da nach den Skalenlampen und derjenigen zur Erleuchtung des Gesichtsfeldes.

Die Theilungen selbst, welche bei (54) und (55) auf den Schiebern befestigt sind, sind auf dünnen Leisten von Platin-Iridium aufgetragen mit einem Theilungsintervall von 0,5 mm. Gleichzeitig mit ihnen ist im Mikroskop noch ein Metallthermometer sichtbar, welches aus Stahl-Zinklamellen mit entsprechender Theilung und Index an deren freien Enden besteht und in inniger Verbindung mit dem Objektivschieber sich befindet (vergl. Fraunhofer'sches Heliometer).[1])

Das Ablesemikroskop steht nicht genau radial auf den Schiebern, sondern ist ein wenig geneigt, um neben dem Okular und dem inneren Rohre austreten zu können. Am Okularende wird es durch zwei Ringe gehalten, welche die nöthigen Justirschrauben tragen, und in der Nähe der Mitte des Rohres sind nochmals Justirungen für die richtige Stellung der Mikroskopaxe vorhanden. Da es häufig vorkommt, dass man zwei Gestirne von ungleicher Helligkeit beobachtet, so muss, da dieser Umstand sehr störend ist, dafür gesorgt werden, den helleren Stern abzublenden. Das geschieht durch die auf dem Rade (56) aufgespannten einzelnen Sektoren verschieden dichter Drahtgaze, wie es Fig. 573 u. 574 ohne Weiteres veranschaulichen. Das Rad ist um einen an der Grundplatte des Objektivkopfes befestigten Zapfen drehbar und kann vermittelst einer Zahnrad-Übertragung und des Gestänges bei h (32) vom Okular aus bewegt werden, und eine kleine Scheibe f, auf welcher ein mit der Stange (32) verbundener Zeiger spielt, giebt dort an, welcher Sektor sich gerade vor einer der Objektivhälften befindet. An einer Stelle des Rades sind zwei benachbarte Sektoren frei, so dass natürlich auch bei ganz unverdecktem Objektiv beobachtet werden kann.

Bei dem hier beschriebenen Kap-Heliometer befindet sich im Objektivkopf direkt hinter den Linsen noch eine Klappe (58), Fig. 574, welche mehr oder weniger gegen die optische Axe geneigt werden kann (auch dafür befindet sich am Okularrande die nöthige Skala) und so bald von der einen, bald von der anderen Objektivhälfte ein entsprechendes Stück verdeckt, oder dieselben auch ganz frei lässt (wenn die Platte in der optischen Axe liegt). Die so erzielte Abblendung der Objektivhälften hat sich aber nach

[1]) Da die Justirung dieses ohne Zweifel eigentlich wünschenswerthen Thermometers äusserst schwierig in genügender Weise auszuführen ist, so dürfte an die Stelle desselben eine leichter zugängliche Einrichtung zu setzen sein, welche auch zugleich so angeordnet sein könnte, dass sie die Temperatur des Gesammtfernrohrs anzeigte.

Versuchen auf der Göttinger Sternwarte nicht bewährt, da die einzelnen Theile der Linsenhälften nicht so gleichwerthig sind, dass nicht durch eine solche unsymmetrische Abblendung einzelner Theile Verschiebungen der Brennpunktbilder stattfinden. In Göttingen hat man daher diese Einrichtung ganz entfernt; es dürfte das durchgängig zu empfehlen sein.[1])

Die Ablesung der Skalen der Objektive mittelst des Mikrometer-Mikroskops erfolgt nun in der bei den Repsold'schen Mikrometern vorgesehenen und schon mehrfach erwähnten Doppelbewegung, indem man zunächst mittelst der Kastenschraube (ohne getheilten Kopf) ein Fädenpaar z. B. auf einen Theilstrich der Skala I bringt und sodann mittelst der Mikrometerschraube das andere im Mikrometer befindliche Fadenpaar auf einen nahe gelegenen Strich der Skala II. Wird dieses Verfahren bei der Einstellung nach durchgeschraubten Objektivhälften in konsequenter Weise wiederholt und bleibt man mit dem zweiten Fadenpaar immer auf derselben Seite des ersteren, so wird man sowohl von irgend welchen Koincidenzpunkten im Mikrometer als auch von den Vorzeichen der mit dem Mikrometer gemessenen Distanzen unabhängig und hat nur die einfache Differenz der Trommelablesung zu der Differenz der Skalenstriche zu addiren. Ein später zu gebendes Beispiel wird dieses Verfahren näher erläutern.

Die mit getheilter Trommel versehene Schraube bewegt zugleich zwei Fadenpaare, deren Mitten um eine halbe Umdrehung von einander abstehen, um durch deren successives Einstellen etwa vorhandene kleine periodische Fehler der Messschraube zu eliminiren. Die Striche der Objektivtheilungen sind so numerirt, dass die Skala I die Ziffern von 0—200 und die Skala II die von 200—400 trägt, so dass also schon aus der Ablesung selbst erkannt werden kann, welcher Objektivhälfte dieselbe angehört. Das Beispiel zeigt eine Messung einer Distanz und eines Positionswinkels in zweckmässiger Anordnung nach dem Göttinger Schema.

Die Stellungen der Mikrometerschraube werden, damit während der Messung das Auge nicht auf die nahe Trommel akkommodiren muss und auch nicht durch die Lampe geblendet wird, nicht direkt abgelesen, sondern auf der Trommel sind die Zahlen erhaben gravirt, ebenso der Index und die Angabe für die ganzen Umdrehungen auf einem durch Zahnradübertragung bewegten Sektor. Gegen diese Ziffern wird, nachdem eine Einstellung erfolgt ist, der Papierstreifen eines Repsold'schen Druckapparates, Fig. 578, angepresst, und zugleich nach Lösung des Druckes automatisch weitergeschoben. Beliebige Merkmale, z. B. nochmaliges Abdrücken derselben Einstellung, kennzeichnen leicht die zu einer Distanz gehörigen Messungen.

Bei dem hier angewendeten Druckapparat wird der Papierstreifen nicht durch einen Scheerenhebel, wie in Fig. 579,[2]) gegen die Reliefziffer der Trommel

[1]) Das Heliometer für die v. Kuffner'sche Sternwarte hat diese Einrichtung nicht mehr erhalten.

[2]) Die Fig. 579 stellt eine Einrichtung des Druckapparates dar, wie sie früher von Repsold vielfach den Fadenmikrometern beigegeben wurde; von der Vorrathsrolle V geht der Streifen zwischen Schraubentrommel S und Druckbacke hindurch nach der um Z drehbaren Zugtrommel, welche durch Bewegung des um H drehbaren Hebels mittelst Sperrrad und Zahnfeder weiterbewegt wird.

gepresst, sondern durch die mehrgängige Schraube a; der Papierstreifen ist wie dort in der Trommel b aufgewickelt und wird zwischen c und der Druckbacke zu der Zugtrommel d hindurch geleitet, an deren Peripherie das Ende durch einen Schlitz hindurchgeht und dort mittelst eines kleinen Schiebers festgeklemmt wird. Bei jeder Rückdrehung der Druckschraube um etwa 120°

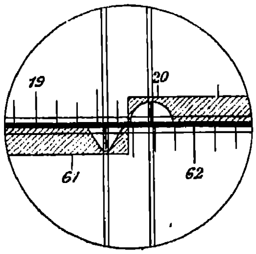


Fig. 577.

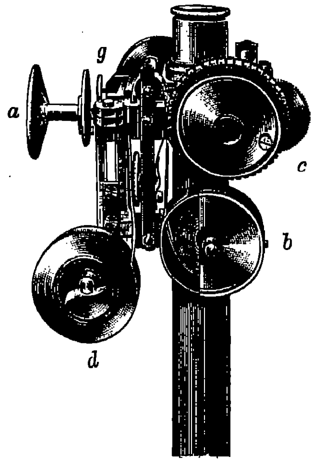


Fig. 578.

bewegt eine auf der Schraubenspindel befestigte, eingeschnittene Scheibe durch Vermittlung eines Schiebers mit Sperrfeder die Zugtrommel um etwa $^1/_6$ Umgang und bewirkt so das Fortschieben des Papierstreifens, so dass

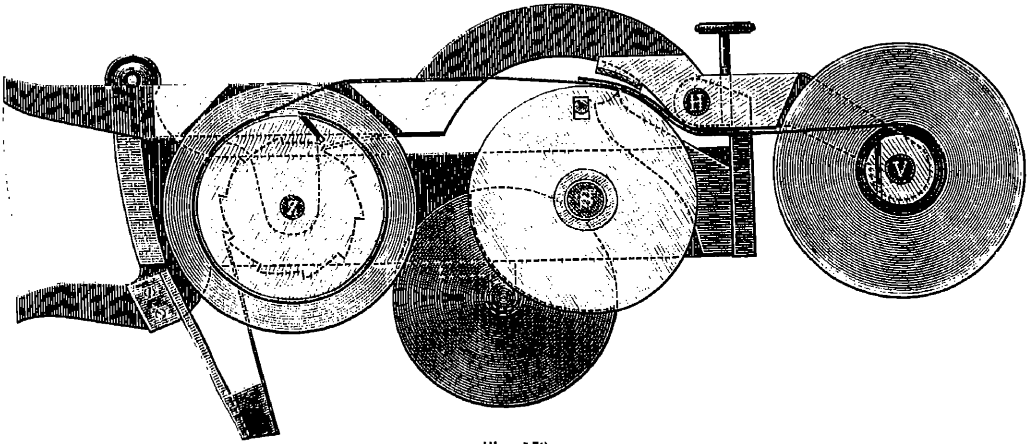


Fig. 579.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1881.)

für den nächsten Abdruck eine neue Stelle zwischen Druckbacke und Typentrommel zu liegen kommt. Diese ganze Vorrichtung wird mittelst einer Ansatzstange an der Grundplatte des Mikrometerkastens durch zwei Spangen gehalten, durch deren eine eine kleine Druckschraube g hindurchgeht und die Stange festpresst.

Die Ablesung des Positions- und Deklinationskreises geschieht mittelst der beiden Mikroskope m (37), welche an dem äusseren Okularrohr und an der Büchse für die Positionsbewegung befestigt sind. In dem Gesichtsfeld derselben sieht man gleichzeitig beide Theilungen; die Okulare sind mit gewöhnlichen Mikroskopmikrometern versehen. Um aber die Ablesungen von der unvermeidlichen Biegung der langen Rohre unabhängig zu machen, können die Messungen nicht nur mit Bezug auf den Nullpunkt der Schraubentrommel angestellt werden, sondern es mussten für beide Theilungen auch feste Indices angebracht werden, auf welche dann die Stellungen der Kreisstriche bezogen werden. Das Gesichtsfeld eines dieser Mikroskope stellt Fig. 577 dar. Der Index im halbrunden Ausschnitt gehört zum Positionskreis mit den Zahlen 61 und 62 und der im dreieckigen zum Deklinationskreis, auf welchem man die Ziffern 19 und 20 sieht.

Der Strahlengang in diesem Mikroskop ist der, dass die Strahlenbüschel, welche von der Lampe (59), Fig. 576, nach beiden Seiten hin ausgehen, mittelst einer Objektivlinse aufgefangen werden und zur Hälfte ihren Weg direkt zur Theilung des Deklinationskreises nehmen, zur anderen Hälfte aber nach Reflexion an einem rechtwinkligen Prisma (68) auf den Positionskreis fallen. Die dort erleuchteten Kreistheile senden dann auf denselben Wegen die Strahlen zurück, nur mit dem Unterschied, dass dieselben jetzt durch innere Reflexion an demselben Prisma nach dem Okular geleitet werden (in die Richtung nach 31) und dort das in Fig. 577 dargestellte Bild erzeugen. Die mittelst der Schraube, von welcher eine Umdrehung gleich $10' = 60$ p ist, gemessenen Intervalle zwischen Indices und nächstgelegenen Theilstrichen der Kreise geben dann die Kreisablesungen auf $^1/_{10}$ Minute, und gleichzeitig durch ihre Summe eine Kontrole für den Gang (Run) der Schraube für beide Kreise.

Das Sucherfernrohr am Kap-Heliometer von nahe 80 mm Öffnung ist mit einem einfachen Mikrometer versehen, um an demselben die später am Heliometer zu machenden Messungen vorläufig im Rohen auszuführen, und so sich die nöthigen Einstellungsdaten für Skalen und Positionskreis zu verschaffen und ausserdem die Orientirung z. B. in einem Sternhaufen erheblich zu erleichtern.

Dieses Mikrometer ist ähnlich dem alten Gascoigne'schen und besteht aus einer Schraube, welche zwei von der Mitte aus nach entgegengesetzten Seiten geschnittene Gewinde von gleicher Ganghöhe trägt. Zwei Platten mit je einem dünnen Metalldraht werden dadurch gleichmässig zur Mitte des Gesichtsfeldes (der Koincidenzstellung) nach den Seiten geführt und ihre Entfernung an einem getheilten Kopf abgelesen.[1]) Die Ablesung der Trommel giebt dann die Distanzen, während ein kleiner in Grade getheilter Positionskreis, in dessen Mitte sich das Mikrometerokular dreht, die Positionswinkel genähert zu bestimmen gestattet.[2])

Dem Instrumente ist, wie schon angegeben, ein Uhrwerk mit Repsold'schem

---

[1]) In der Darstellung des v. Kuffner'schen Heliometer bei 60 zu sehen.

[2]) Diese sehr bequeme Einrichtung fehlt leider dem Göttinger Heliometer, erst beim grossen Wiener Instrumente ist sie wieder angebracht worden.

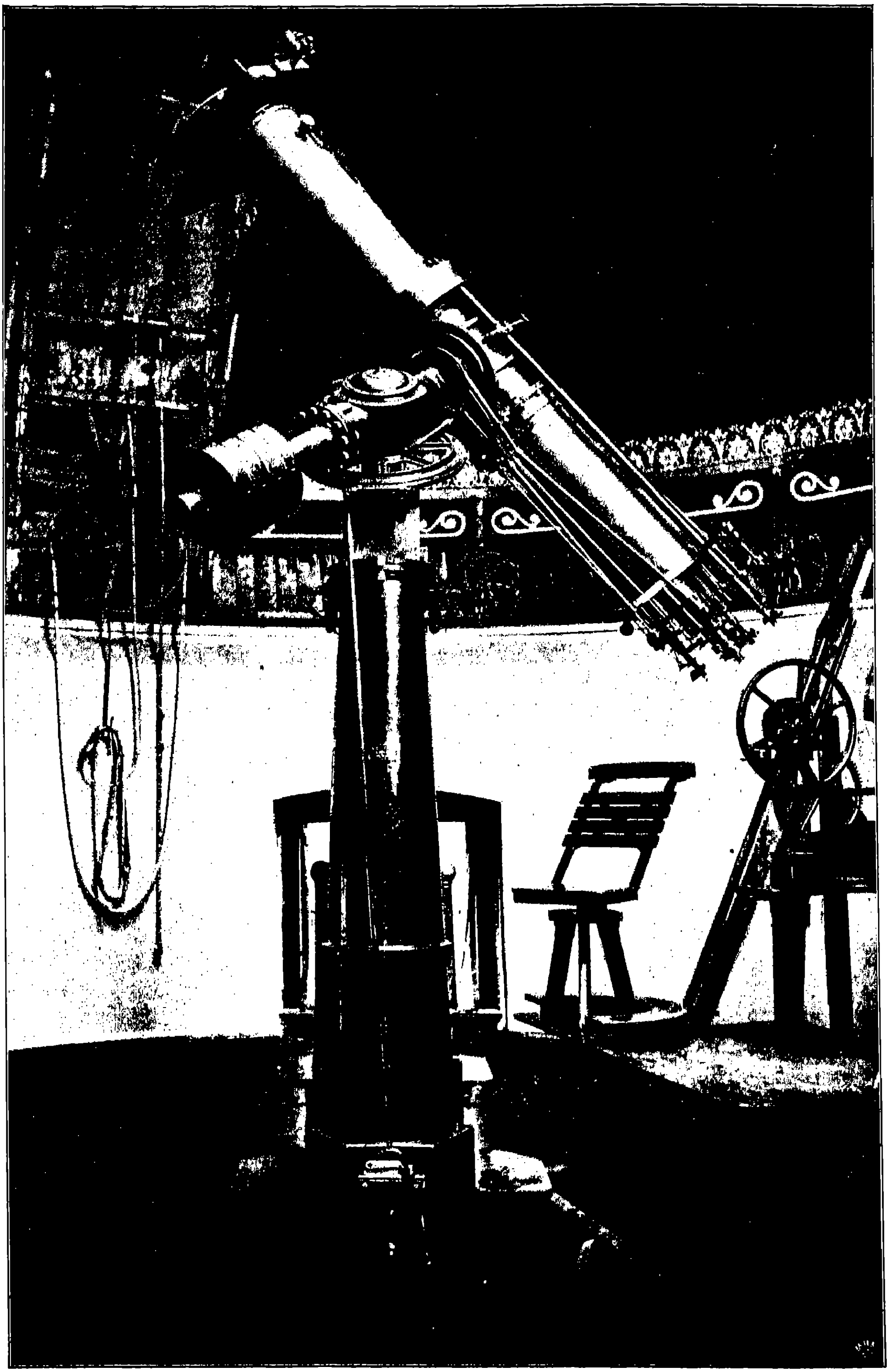


Fig. 580.
(Nach den Publ. d. Sternwarte Göttingen.)

Feder-(Elasticitäts-) Pendel (89) beigegeben und ein bequemer Beobachtungsstuhl, welcher später näher beschrieben werden wird.[1])

d. Das Heliometer der v. Kuffner'schen Sternwarte.

Das grösste bisher gebaute Heliometer ist das neue auf der v. Kuffner'schen Sternwarte in Wien aufgestellte, von dem ich durch die Güte des Herrn Dr. DE BALL mit Einwilligung des Herrn v. KUFFNER und der Herren Repsold Söhne in den folgenden Figuren nach Obigem leicht verständliche interessante Darstellungen der Haupttheile gebe.[2]) Es sind nur wenige Änderungen im Bau dieses Instrumentes, welche hier besonders zu erwähnen sein dürften. Die Schieber für die beiden Hälften des 217 mm freie Öffnung und eine Brennweite von 3 m besitzenden Objektivs sind in etwas anderer Weise an der Grundplatte des Objektivkopfes befestigt, wie bei den Heliometern am Kap, zu Göttingen, Leipzig und Bamberg.

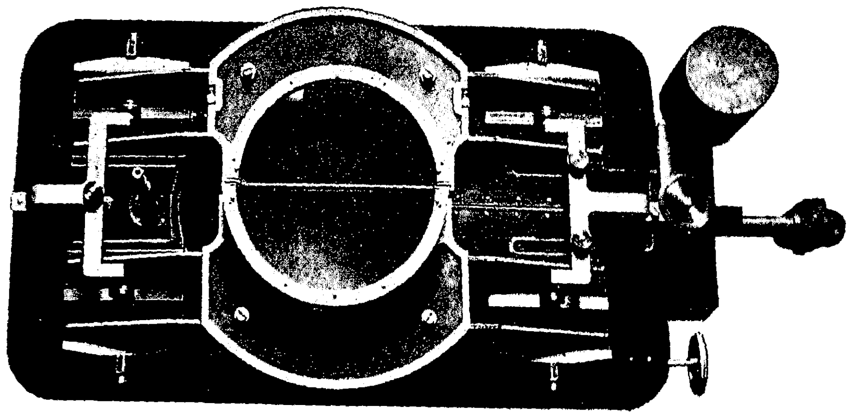


Fig. 581.
(Nach Originalphotographie.)

Ein Vergleich der Fig. 574 u. 581 mit Fig. 584 zeigt diesen Unterschied sofort. In der älteren Anordnung werden die Schieber durch je vier Leisten, in der neuen nur von drei geführt, das sichere Aufliegen auf der Führung bewirken die an den beiden Enden befindlichen Federn f, während die an den Rundungen der Fassungen gelegenen Schienen durch Vermittlung je einer Korrektionsschraube h mit Gegenmutter die Parallelführung sichern. Bei den älteren Instrumenten wird dies ebenfalls durch zwei besondere Führungen mit ähnlicher Schraube bei 47c, Fig. 574 u. 581, bewirkt. Die neue Einrichtung sichert einen gleichmässigeren Druck und hat geringere Reibung, dürfte also wohl mit Recht vorzuziehen sein. Der bei dem v. Kuffner'schen Heliometer wieder ein-

[1]) Die Fig. 580, 581 u. 582 stellen sowohl die Gesammtansicht als auch die Objektiv- und Okulartheile des Göttinger Heliometers dar, welches bezüglich seiner Konstruktion zwischen dem der Kap-Sternwarte und dem des Ottakringer Observatoriums steht.

[2]) Dieselben sind zum Theil den Originalphotographien von Repsold, zum Theil dem VI. Bande der Publikationen der v. Kuffner'schen Sternwarte entnommen.

geführte gezahnte Ring P zur groben Bewegung in Position ist beim Göttinger und Bamberger Heliometer, Fig. 582, in Wegfall gekommen. Die Ablesung und Einstellung am Stundenkreis ist mit der Grösse des Instruments etwas verändert worden. Die Ablesung geschieht durch ein gebrochenes Mikroskop, Fig. 583, und die Einstellung mittelst eines horizontalen Kurbelrades, während zur genauen Ablesung wieder zwei besondere Mikroskope vorhanden sind. In der Balancirung der Stundenaxe ist dadurch eine Verbesserung eingeführt worden, dass wie bei dem grossen Pulkowaer Refraktor (siehe später) der obere Theil dieser Axe, sehr nahe unter dem Schwerpunkt der ganzen

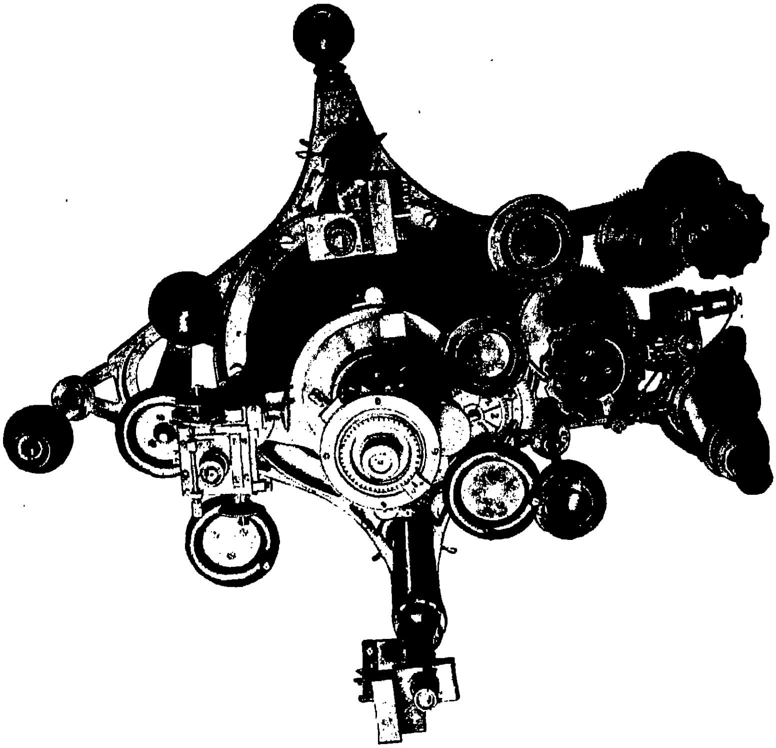


Fig. 582.
(Nach Originalphotographie.)

um diese Axe drehbaren Masse, durch eine vertikal gestellte Rolle gestützt wird, deren horizontale Axe genau unter der Mittellinie der Polaraxe liegt. Die Lager der Rollenaxe werden auf der einen Seite durch direktes Aufliegen auf den Obertheil der Säule, an der anderen aber durch eine starke Feder gestützt, welche den Druck des ganzen Instrumentes nahezu balancirt.[1])

Am Okularauszug ist hinter dem Fadenkasten eine glockenähnliche Metallplatte B angebracht, welche alle zunächst gelegenen Theile gegen den Hauch schützt und ausserdem auch vom Auge die verschiedenen Reflexlichter ferne hält, welche sich leicht an den blanken Stellen der Schrauben und Schlüsselköpfe bilden und manchmal recht lästig sind. Das v. Kuffner'sche

---

[1]) Vergl. die Äquilibrirung bei dem Potsdamer photographischen Refraktor.

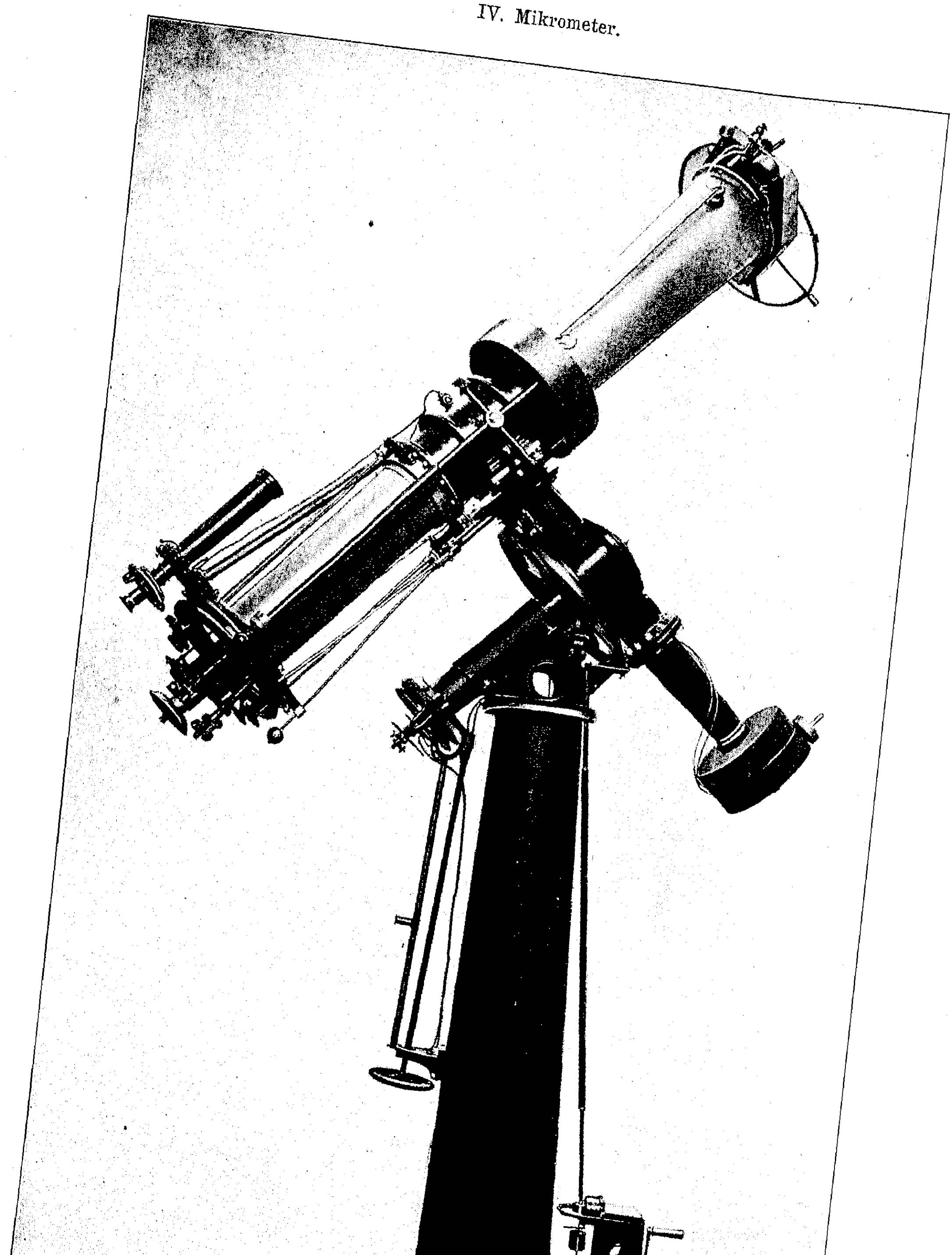


Fig. 583.
(Nach Originalphotographie.)

Heliometer kann wohl als das vollkommenste Heliometer, welches die Astronomen besitzen, betrachtet werden, und es steht zu wünschen, dass reiche Resultate mit ihm gewonnen werden möchten.

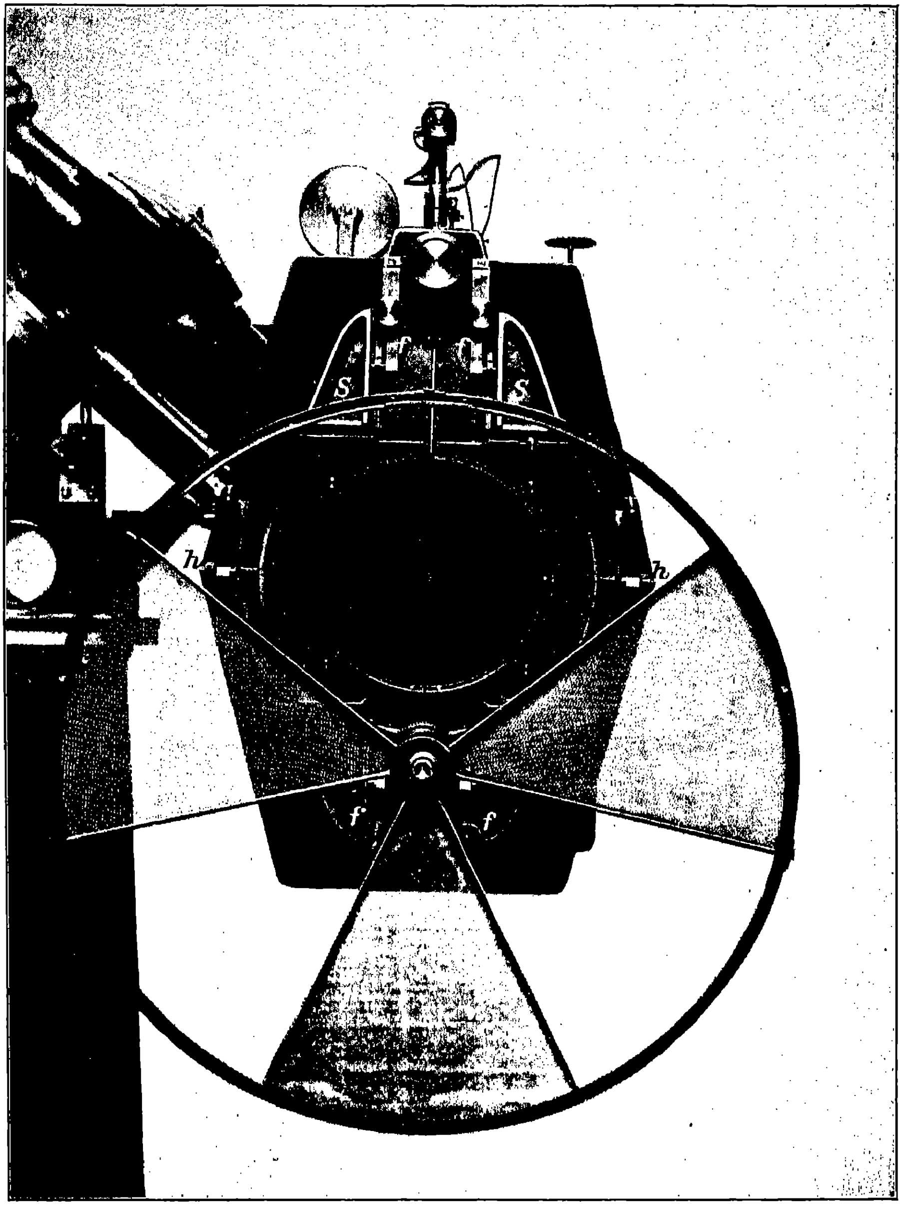


Fig. 584.
(Nach Originalphotographie.)

Die genaue Untersuchung dieser Instrumente und Bestimmung der die Genauigkeit der Messungen verbürgenden Konstanten ist eine sehr mühevolle Arbeit; da die dabei angewandten Methoden aber von allgemeiner Bedeutung

auch für einige der nachfolgend beschriebenen Instrumente sind, mag später im Zusammenhang noch Einiges darüber mitgetheilt werden.

e. Das Heliometer nach Niesten (Brüssel).

Heliometer ganz eigenthümlicher Konstruktion sind die von Honzeau, früherem Direktor der Sternwarte in Brüssel, speciell für die Beobachtungen der Venus-Vorübergänge 1874 und 1882 konstruirten. Sie sind nach L. Niesten's Angaben von Grubb in Dublin gebaut, und ihr optischer Theil ist aus je zwei Halblinsen von ungleicher Brennweite zusammengesetzt. Denkt man sich nämlich das Bild der Sonne entworfen durch

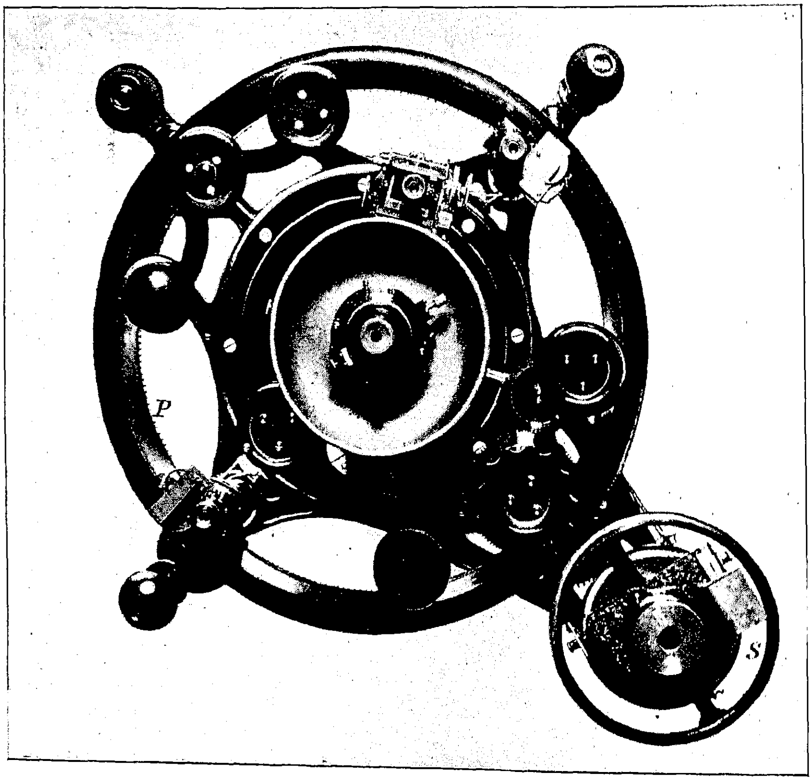


Fig. 585.
(Nach Originalphotographie.)

eine Linse von kurzer Brennweite und das der Venus durch eine solche von grosser Brennweite, so wird der Durchmesser beider Brennpunktsbilder gleich gemacht werden können, wenn man die ungleichen Brennweiten so wählt, dass ihr Verhältniss umgekehrt gleich ist demjenigen der scheinbaren Durchmesser der Gestirne im gegebenen Moment. Sind die ungleichen Objektivhälften so angeordnet, dass ihre optischen Axen zusammenfallen und ihre Schnittlinien parallel laufen, so werden die von ihnen erzeugten Bilder mit demselben Okular betrachtet werden können, wenn ihr Abstand von der gemeinschaftlichen Brennebene gleich ist ihren resp. Brennweiten

und sie selbst auf entgegengesetzten Seiten der optischen Axe liegen. Derart waren die belgischen Heliometer eingerichtet, indem man zwei Linsen von den angegebenen Dimensionen diametral durchschnitt und die Hälften von ungleicher Brennweite zu je einem Instrumente vereinigte. Mittelst eines solchen Fernrohrs konnte man dann durch Verschieben der Linse mit kurzer Brennweite in einer zur optischen Axe senkrechten Ebene die aus praktischen Gründen nicht ganz gleich gemachten Bilder von Venus und Sonne genau koncentrisch zusammenbringen. Das Zusammenfallen der Centren liess sich an der überall gleichen Breite des sehr schmalen überstehenden Randes des einen Bildes leicht und sehr schnell beurtheilen. In der That sind die beiden Vorzüge, welche Honzeau diesem Instrumente gegenüber den gebräuchlichen Heliometern nachrühmt, die, dass der scheinbare Abstand der Centren beider Gestirne durch eine einzige Pointirung gemessen wird (nämlich durch die Verschiebung, welche den Linsenmittelpunkten mittelst der Schraube S, Fig. 588, gegeben wird), und dass diese nicht auf der Vergleichung einzelner Randpunkte, sondern des Gesammteindruckes der gleichen Breite des erwähnten überstehenden Ringes beruht. Die Schnelligkeit der Messung war so gross, dass eine solche nur 30 Sekunden in Anspruch nahm. Die Gesammtansicht eines dieser Instrumente zeigt Fig. 586. Die eine Halblinse, welche noch von Cauchoix angefertigt war, hatte 4,34 m Brennweite und 0,22 m Öffnung, während

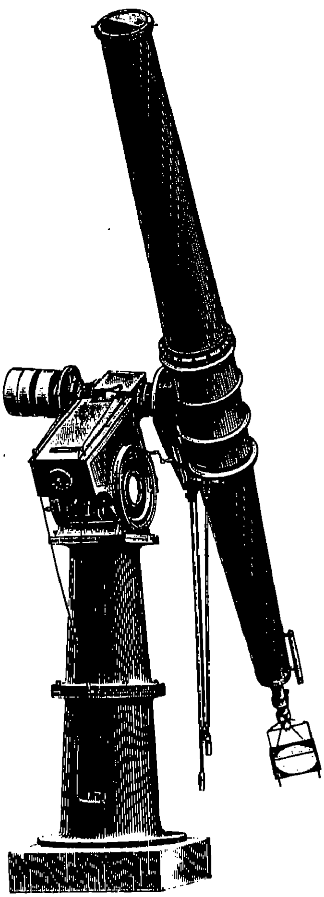


Fig. 586.
(Nach Annales de l'observ. royal de Bruxelles.)

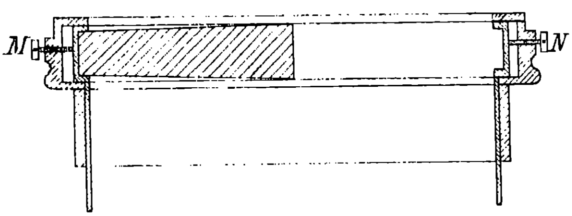


Fig. 587.

die andere nur 0,14 m Fokaldistanz besass. Die Fig. 587 zeigt bei M N die Fassung der grossen Objektivhälfte, die Fig. 588 die Fassung der kleinen Linse T Q R nebst ihrem Bewegungsmechanismus A B. Aus Fig. 586 ersieht man, dass die Vergleichungen der beiden Bilder durch Projektion auf einem mit dem Okularauszug verbundenen Schirme gemacht wurden. Fig. 589 stellt die Einrichtung des Okularansatzes genauer dar. Bei CD befindet sich die kleine Objektivhälfte, während bei LM eine Drehung der kleinen Linse um die optische Axe und bei EF die Einfügung eines Fadennetzes in die

gemeinschaftliche Bildebene der beiden Objektivhälften bewirkt werden konnte. Bei G H wird diese Fassung für kleine Linse und Okular mit dem Hauptrohr verbunden.

Die Messung in Position wird dadurch erzielt, dass sich das ganze Fernrohr, wie bei den neueren Heliometern, in einer besonderen, seinen mitt-

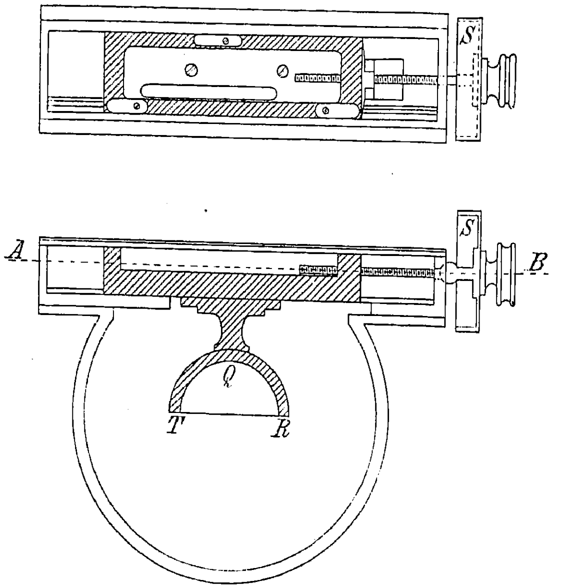


Fig. 588.

leren Theil umfassenden Büchse um die optische Axe drehen lässt. Die Bewegungsschraube für das kleine Objektiv war so gewählt, dass ein Schraubengang bei beiden Instrumenten etwas über 12 Bogensekunden entsprach, so dass also bei 100theiliger Trommel noch etwa $^1/_{100}$ Bogensekunde geschätzt

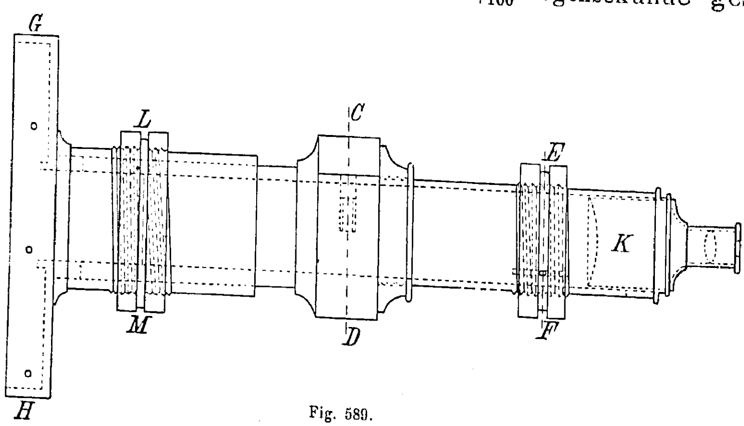


Fig. 589.

werden konnte. Bezüglich der Untersuchungen über Einfluss der Temperatur u. s. w. auf die Angaben des Instrumentes, sowie bezüglich der Auswerthung der mit ihnen erhaltenen Resultate muss ich aber hier auf das

Original verweisen,[1]) was wohl um so mehr gerechtfertigt sein dürfte, als wohl kaum ferner eine anderweitige Benutzung solcher Instrumente zu erwarten sein wird.

2. Doppelbild-Mikrometer mit Messapparat am Okular.

Es ist nicht zu verkennen, dass das Durchschneiden grösserer Objektive immerhin mit einiger Gefahr für dieselben verbunden ist, und dass man sich daher schon aus diesem Grunde nicht entschliessen konnte, grössere Linsen dieser Gefahr auszusetzen. Aber auch heute steht die ausserordentliche Komplikation der Montirung grösserer Linsen als Heliometer hindernd entgegen, ganz abgesehen davon, dass die Bildqualität in Folge von Beugungserscheinungen, welche an der Schnittfläche entstehen und namentlich die Form der Bilder beeinflussen, doch etwas abnimmt.[2])

A. Mikrometer aus diametral durchschnittenen Linsen.

Diese Erwägungen waren es, welche W. Struve veranlassten, bei Steinheil ein Okularheliometer für den grossen Pulkowaer Refraktor zu bestellen. Dasselbe sollte an diesem grossen Instrumente benutzt werden, ohne es selbst in seiner Qualität als Fernrohr zu schädigen. Leider scheint es nicht den Erwartungen entsprochen zu haben; denn ausser den kurzen Beschreibungen in der Description de l'Observatoire de Poulkova und dem Originalbericht von Steinheil in den Anzeigen der Münchener Akademie von 1843 No. 41 vom 8. Februar (dem nachfolgende Beschreibung entnommen ist) finden sich nur kurze Mittheilungen über dasselbe in Carl's Principien d. astron. Instrkde.

a. Das Steinheil'sche Okular-Heliometer.

Eine zwischen Objektiv und Okular gelegene achromatische Linse wird, wie beim Heliometer, diametral durchschnitten, und ihre beiden Hälften werden durch eine Schraube gleichzeitig um gleiche Beträge von der optischen Axe des Refraktors entfernt, bis die von ihnen entworfenen Doppelbilder die gewünschte Stellung einnehmen. Um den Positionswinkel messen zu können, kann auch der ganze an die Stelle des Okulars tretende Apparat um seine Axe gedreht werden; der zu diesem Zweck vorhandene Positionskreis ist durch diametrale Nonien bis auf 10″ ablesbar.

Im Übrigen bemerkt Steinheil in seinem Bericht über dieses Okularheliometer noch das Folgende zur näheren Charakteristik der Anordnung desselben:[3])

„Welcher Genauigkeit dieses Messungsmittel fähig ist, wird am besten aus der Theorie des Instrumentes ersichtlich werden. Es sei:

[1]) Das was über die beiden Brüsseler Heliometer, von denen das eine in Santiago, das andere in San Antonio (Texas) benutzt wurde, bekannt geworden ist, findet sich im V. Bande der Annales de l'observatoire royal de Bruxelles, nouvelle série, S. 3—34.

[2]) Vergl. Bessel, Astron. Untersuchungen, Bd. I, S. 91 ff. — H. Bruns, Astron. Nachr., Bd. 104, S. 1 — Battermann, Astron. Nachr., Bd. 120, S. 337.

[3]) Münchener gelehrte Anzeigen 1843, S. 331.

p die Brennweite des Objektivs,
q die Brennweite der Zwischenlinse,
A der Abstand der Zwischenlinse vom Brennpunkte des grossen Objektivs,
β die Vereinigungsweite der Objektivstrahlen durch die Zwischenlinse,
Δ die Verstellung der Zwischenlinse senkrecht auf die optische Axe,
O die entsprechende Verstellung des Bildes in der Vereinigungsweite β,
ψ endlich der Winkel, unter welchen O vom Objektive aus erscheint;
dann findet zwischen diesen Grössen folgende Relation statt:

$$\frac{O}{\Delta} = \frac{A}{A+q} = \frac{\beta}{q}$$

$$O = \frac{p \cdot q}{A+q} \text{Tang.} \psi$$

$$\Delta = \frac{p \cdot q}{A} \text{Tang.} \psi.$$

Bei unserem Okularheliometer ist aber

$$p = 2880 \quad q = 720 \quad \beta = 114 \text{ Par. Linien.}$$

Daher ein Umgang der Schraube = 0,31 Par. Linien,
woraus folgt

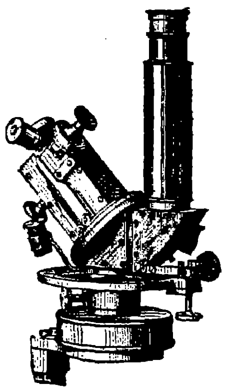
$$A = 135{,}44 \quad \Delta = 4{,}4535 \quad O = 0{,}7049 \text{ Par. Linien.}$$

Die grösste Verstellung der Linsen beträgt aber 36 Linien, es wird daher die Verkürzung des Fernrohrs durch das Zwischenobjektiv = 21,44 Linien.

Der grösste messbare Winkel mit 3 Zoll Verstellung wird 8,08 Minuten.

Die Trommeln durchlaufen für 1 Bogensekunde 22,27 Theile.“

Um das Instrument in allen Lagen des Refraktors zu balanciren ist es in einem starken Metallringe in einem doppelten System von Friktionsrollen angebracht. Die Axen des einen Systems sind parallel mit der optischen Axe, die des anderen stehen senkrecht darauf. Das erstere ermöglicht für die Gegengewichte eine doppelte, das andere nur eine einfache Drehung. Die Firma Steinheil baut auch jetzt noch ein ähnliches Okularmikrometer, welches aber eigentlich zu einer später zu besprechenden Art gehört, da in demselben die Verdoppelung der Bilder durch zwei rechtwinklige Prismen erzeugt wird, von welchen jedes durch Mikrometerschraube mit Trommel messbar um seine Axe gedreht werden kann, Fig. 590. Die Prismen reflektiren unter 45° und sind in paralleles Licht gestellt. Wenn daher auch die spiegelnden Flächen einen Winkel mit einander bilden, so treten die Lichtbüschel nicht, wie bei den älteren Heliometern, gegen einander verstellt aus, sondern sie bleiben centrisch bei allen Winkeln, und es hat die verschiedene Entfernung der spiegelnden Flächen von der Bildebene keinen Einfluss mehr auf die Güte der Bilder, die ohne Parallaxe erscheinen. Als Okular dient ein kleines Fernrohr mit Objektivprisma, das parallel zur Fernrohraxe steht.


Fig. 590.

Die Helligkeit der Bilder gegen einander ändert sich mit dem Abstand von dem grössten Durchmesser des Gesichtsfeldes, in welchem sich die Bilder gegen einander bewegen. Was dem einen Bilde an Helligkeit entzogen, wird dem andern zugelegt. Der Positionskreis giebt einzelne Minuten.[1])

b. Amici's Mikrometer.

Das Steinheil'sche Okularheliometer beruht auf ganz ähnlichen Grundsätzen, wie das früher schon von Amici angegebene. Dieser beschreibt sein Instrument ausführlich mit Hülfe einiger Zeichnungen.[2]) Ebenso findet sich eine Beschreibung in Pearson, Practical Astronomy, S. 564, welcher die hier angegebenen Abbildungen, Fig. 591 u. 592, entnommen sind. In denselben ist a der Theil des Mikrometers, mit welchem es an das Fernrohr

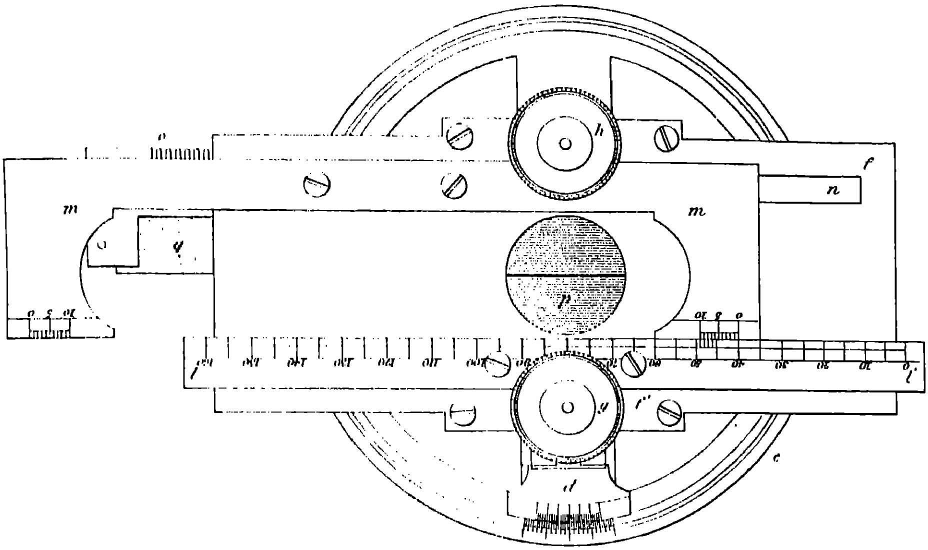


Fig. 591.

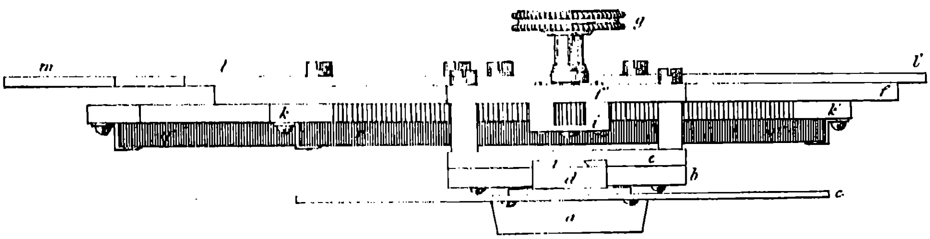


Fig. 592.
(Nach Pearson, Pract. Astronomy.)

zwischen Objektiv und dessen Brennebene angebracht wird, c ist ein Positionskreis, welcher mittelst des am beweglichen Theile angeschraubten Nonius d abzulesen ist. Die Platten b und e drehen sich um das Centrum des Positions-

[1]) Vergl. Centralztg. f. Optik u. Mechanik, Bd. VI, No. 13, 1. Juli 1885.
[2]) Amici, Nouveau microm. intermédiaire, in v. Zachs Corresp. astron., Bd. IX, S. 517.

kreises, die letztere trägt auf vier kleinen Säulen die rechteckige Platte f; zwischen e und f sind die Schieber k k′ und o n mittelst Zahnstange beweglich. Diese Bewegung wird durch die Triebe g und h vermittelt. Von diesen Schiebern trägt der eine auf seiner vorderen Seite eine Skala l l′ und der andere die Indexplatte m m′. Die Verbindung zwischen Schieber und Skala resp. Index wird durch je zwei Schrauben, welche die Platte f in langen Ausschnitten durchsetzen, in denen sie zugleich ihre Führung haben, bewirkt. Auf der Rückseite trägt jeder Schieber einen etwa 4 bis 5 Zoll langen Theil einer schwachen Konkavlinse r r′ und q. Diese Theile sind dadurch hergestellt, dass man eine Linse von 4 bis 5 Zoll Durchmesser diametral durchschnitt und von beiden Hälften je einen Streifen von etwa 1 Zoll Breite herausschnitt, so dass die eine Kante dieses Streifens die diametrale Schnittlinie und die andere eine dazu parallele Sehne darstellt. Die Platte f hat in ihrer Mitte eine Durchbohrung p, welche dem Strahlenkegel des Objektivs an dieser Stelle nahezu entspricht. Durch die beiden Linsensegmente wird der vom Objektiv kommende Strahlenbüschel in zwei Theile zerlegt, deren Strahlen sich nur dann in einem Punkte vereinigen, wenn die Mittellinien der Linsensegmente zusammenfallen; in jedem anderen Falle werden zwei Bilder des Objektes entstehen, deren Distanz von der Stellung der Schieber abhängt. Werden durch ein solches Mikrometer z. B. die beiden Komponenten eines Doppelsterns betrachtet, nachdem man die Schnittlinie in ihre Verbindungslinie gebracht hat, so wird man leicht die vier entstehenden Sternbilder so stellen können, dass zwei derselben sich decken. Liest man gleichzeitig die Skalen der Schieber ab, so wird man, falls der Winkelwerth eines Skalentheiles bekannt ist, in ähnlicher Weise wie beim Heliometer, auf den gegenseitigen Abstand beider Sterne schliessen können.

c. AIRY's Mikrometer.

Die beiden zuletzt beschriebenen Mikrometer sind nur wenig zur Anwendung gelangt, dagegen ist ein nach den Angaben von G. B. AIRY konstruirtes, welches auf ganz ähnlichen Principien beruht, früher vielfach benutzt worden. [1]) AIRY's Mikrometer besteht aus vier Linsen, welche das Okular zusammensetzen und deren Formen so gewählt sind, dass vom Objektiv aus gerechnet die Lichtstrahlen zunächst auf eine bikonvexe Linse mit gleichen Krümmungsradien treffen, welche eine bestimmte Brennweite z. B. von p cm hat; diese steht von der nächsten gleichgeformten Linse um sehr nahe p cm ab. Letztere ist diametral durchschnitten, und beide Hälften sind in ähnlicher Art wie beim Heliometer gegen einander verschiebbar, sie steht von der nächsten plankonvexen Linse, wenn ihre Brennweite z. B. 5 cm beträgt, um 2 cm ab. Diese dritte Linse, welche mit der planen Seite nach der vierten Linse gerichtet ist, steht dann von letzterer um $1^3/_4$ cm ab und hat ebenso wie diese eine Brennweite von einem Centimeter. Die vierte Linse, welche

1) Nähere Beschreibungen und Angaben über die optischen Konstanten derselben finden sich in: Cambridge Philos. Transact., Bd. II — Greenwich Observations 1840 — Mem. of the Royal Astr. Soc., Bd. XV, S. 199 und Monthly Notices, 1849—1850, S. 160.

mit der dritten gewissermassen ein Ramsden'sches Okular bildet, hat also die gleiche Brennweite wie die dritte.

Eine Verbesserung dieses Mikrometers hat 1850 Mr. Valz in Marseille vorgeschlagen, dieselbe besteht namentlich darin, dass er an Stelle der zweiten bikonvexen eine bikonkave Linse einführt. Seine Anordnung des Mikrometers ist dann die folgende:

Brennweite der dem Objektiv nächsten Linse (konvex)	= p	Maasseinheiten
Entfernung dieser Linse von der zweiten	= p	„
Brennweite der zweiten achromatischen Linse, der durchschnittenen (konkav)	= n	„
Entfernung zwischen 2. und 3. Linse	= n	„
Brennweite der 3. Linse (plankonvex)	= n	„
Distanz zwischen 3. und 4. Linse	= 3 n	„
Brennweite der 4. Linse (plankonvex)	= n	„

Airy selbst gesteht dieser Konstruktion einige Vortheile vor seiner eigenen zu, namentlich die, dass eine kürzere Schraube zur Bewegung der Linsenhälften genügt und dass in Folge der geringen Dicke der getheilten Konkavlinse weniger Licht verloren geht, sowohl in Folge der Brechung als der Absorption.[1])

Das für die Astronomie wichtigste Exemplar dieses Mikrometers ist offenbar das auf der Leidener Sternwarte von Kaiser benutzte; wenn es auch noch nicht die Vollkommenheit besass, die ihm, durch die Untersuchungen Kaisers veranlasst, später gegeben wurden, so mag die Einrichtung des von diesem Astronomen benutzten Mikrometers doch kurz beschrieben werden, zumal dasselbe dem 1850 für Greenwich gelieferten gleich ist. Der Positionskreis ist eine Scheibe von 11,5 cm Durchmesser, welche direkt am Okularauszug des Fernrohrs befestigt werden kann; um den Mittelpunkt dieser Scheibe dreht sich eine zweite, welche die beiden Nonien und das eigentliche Mikrometer trägt; die Bewegung um die optische Axe wird in der englischen Weise durch einen Zahnkranz und Trieb bewirkt. Auf der zweiten Scheibe liegt ein Metallstück mit drei Spitzen auf. Die Verbindungslinie zweier derselben ist parallel der Durchschnittslinie der getheilten Linse; durch die dritte, die das vordere Ende einer Schraube bildet, lässt sich die optische Axe des Mikrometers etwas um eine der Schnittlinie parallele Axe bewegen, sodass derselben eine kleine Neigung gegen die Axe des Fernrohrs gegeben werden kann.[2]) Das Metallstück hat in seiner Mitte[3]) ein Rohr mit einem inneren Durchmesser von 0,025 m, welches sich bis zu 0,037 m über die Scheibe

[1]) Der eigentliche Vorgänger von Airy's Mikrometer ist dasjenige von Jones, welches Pearson (l. c. S. 185—191) genau beschreibt und abbildet. Dasselbe hat aber so viele Mängel, dass hier von einer weiteren Beschreibung abgesehen werden kann.

[2]) Diese Bewegung dient dazu, die Helligkeit des Bildes zu variiren, da durch dieselbe der vom Objektiv kommende Lichtkegel von der Schnittlinie in verschieden grosse Theile getheilt werden kann, indem jene dann nicht einen Durchmesser, sondern irgend eine Sehne des Lichtkegelquerschnittes darstellt. Bei den geringen hier vorkommenden Neigungen ist die Verschlechterung der Bilder durch den schiefen Durchgang nicht von Bedeutung.

[3]) Ann. d. Sternw. zu Leiden, Bd. III, S. 117.

erhebt. In dieses Rohr wird das eigentliche Mikrometer eingeschoben und mit einer Schraube und einem Klemmring in der gehörigen Lage befestigt. Das eigentliche Mikrometer ist ein Rohr, welches eine Länge von 0,159 m und einen Durchmesser von 0,027 m hat. An einem Ende dieses Rohres wird ein zweites kurzes, welches die vierte Linse enthält, eingeschoben und durch einen Bajonettverschluss fest gehalten. Zur Änderung der Vergrösserung sind dem Instrumente vier Linsen, mit ihren kürzeren Rohren von entsprechender Länge, beigegeben, wovon jede für sich als vierte Linse dienen kann. Diese Linsen haben Brennweiten von $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$ und 1 engl. Zoll. Der Theil des grösseren Rohres, worin sich die vierte Linse befindet und welcher in den Ansatz der drehbaren Scheibe eingeschoben wird, hat eine Länge von 0,030 m. Ein Cylinder, welcher das grössere Rohr umgiebt, enthält die getheilte Linse, von der jede Hälfte in einer starken Metallplatte befestigt ist. Die eine dieser Platten ist am Cylinder festgeschraubt, so dass der Mittelpunkt der Glashälfte, welche sie trägt, in die Axe des Rohres fällt. Die andere Platte lässt sich, parallel mit der Basis des Cylinders, verschieben und wird an der einen Seite durch eine cylindrisch gewundene Feder, an der anderen Seite durch die Mikrometerschraube gezogen. Die Trommel der Mikrometerschraube ist in 100 gleiche Theile getheilt und neben derselben findet sich ein Zeiger, dem Auge des Beobachters zugewandt. Die bewegliche Platte trägt einen Index, welcher durch einen Schlitz am Rande des Cylinders geht und dort auf eine Skala zeigt, welche 50 Windungen der Schraube umfasst. Die Platte lässt sich aber nicht über diesen ganzen Raum bewegen. Die Skala von 50 Schraubenwindungen hat eine Länge von 0,0122 m, so dass jede Schraubenwindung 0,24 mm beträgt. Die zwei ersten Linsen sind in einem besonderen Rohre befestigt, welches eine Länge von 0,097 m hat und an dem Augenende in das grössere Rohr hineingeschoben wird. Dieses Rohr mit den zwei ersten Linsen ist in zwei Exemplaren dem Instrumente beigegeben; das eine mit und das andere ohne Faden im Brennpunkte der ersten Linse. Das erstgenannte Rohr wird hineingeschoben, wenn man den Äquatorpunkt des Positionskreises zu bestimmen hat.

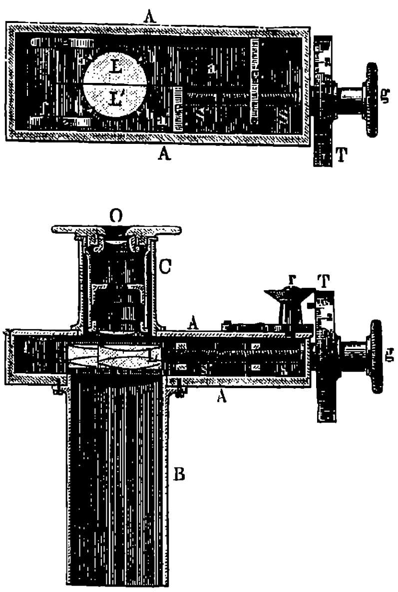


Fig. 593.
(Nach Monthly Notices, Bd. XXXII.)

Eine ganz ähnliche Konstruktion hat in neuer Zeit JOHN BROWNING einem Doppelbildmikrometer gegeben, welches Fig. 593 zeigt.[1])

[1]) John Browning, On a double Image micrometer (Monthly Notices, Bd. XXXII, S. 215) — Vergl. Konkoly l. c. S. 584.

Es ist B das Rohr, welches das Mikrometer mit dem Okularstutzen verbindet, A der Kasten für den Bewegungsmechanismus der getheilten Linse, C das Rohr für das eigentliche Okular O. Die beiden achromatischen Hälften der Konkavlinse L und L' sind auf den Schiebern a und a' mittelst der Klammern b befestigt. Diese Schieber werden durch die Feder f gegen die vordere Fläche des Mikrometerkastens gedrückt und durch die in den Spangen cc' mit Muttergewinden geführte Schraube SS' bewegt. Die Bewegung giebt den Linsenhälften LL' dadurch eine zur optischen Axe des Instruments symmetrische Bewegung, dass die Spindel der mit geränderter Kopf g und Theiltrommel T versehenen Schraube zwei entgegengesetzte Gewinde von gleicher Ganghöhe besitzt. Die ganzen Umdrehungen der Schraube werden durch das Zählwerk r angegeben.

Die Untersuchungen Kaiser's über das Airy'sche Doppelbildmikrometer haben ergeben, dass bei derartigen Doppelbildmikrometern ausser den Fehlern der Schraube (periodische Fehler und fortschreitende Fehler) eine erhebliche Veränderung des Schraubenwerthes für verschiedene Theile des Gesichtsfeldes hinzukommt, welche theils von der ebenen Führung der Linsenhälften, theils von der Distorsion der Bilder abhängt.[1]) Es bedarf daher dieses Mikrometer und die ihm ähnlich gebauten einer sehr eingehenden Untersuchung, wie das auch beim Heliometer selbst der Fall ist. Zahlreiche Messungen sind mit solchen Mikrometern von Main in Oxford und namentlich von Kaiser in Leiden ausgeführt worden; dem Letzteren verdanken wir die eingehendsten Untersuchungen desselben.[2]) Von einem weiteren Eingehen auf die Theorie dieses Mikrometers kann aber hier abgesehen werden, da es jetzt kaum noch Verwendung finden wird.

B. Mikrometer aus Prismen oder Planglasplatten.

Bei einer Reihe anderer Doppelbildmikrometer wird die Verdoppelung der Bilder durch Einschieben von Prismen hervorgebracht; dahin gehören die Apparate von Boscowich, Maskelyne, Lamont und Anderen.

Die Prismen sind hier einfache Glasprismen, welche nur durch ihre Gestalt die Wirkung hervorbringen.

a. Maskelyne's Mikrometer.

Das Maskelyne'sche Mikrometer[3]) ist auf das in der Skizze, Fig. 594, dargestellte Princip gegründet. Zwei achromatische Glasprismen von gleichem

[1]) Das von Simms für Kaiser gebaute Airy'sche Mikrometer war so eingerichtet, dass sich nur eine Linsenhälfte nach beiden Seiten von der optischen Axe der anderen verschieben liess. Später hat Airy dem Mikrometer eine solche Einrichtung geben lassen, dass sich die Linsenhälften symmetrisch verschieben (vergl. die Abhandlungen in Monthly Notices).

[2]) Erste onderzookingen met den Mikrometer van Airy, volbragt door F. Kaiser; Verhandelingen van d. Gesell. d. Wetenschappen, Amsterdam 1858. Dazu ist zu vergleichen: eine zweite Abhandlung in demselben Sammelwerk, und weiterhin Ann. d. Sternw. zu Leiden, Bd. III, S. 111—274.

[3]) Maskelyne, Prismatic micrometer (Philos. Transact. of the Royal Society of London for 1777, S, 799); übersetzt in M. Hell's Beiträgen zur praktischen Astronomie von L. A. Jungnitz (Breslau und Hirschberg, 1791—1793). Maskelyne hat verschiedene Formen dieses

brechenden Winkel von der Form p p sind zwischen das Objektiv und das Okular des Fernrohrs eingeschoben. Während die durch das Objektiv o o′ eintretenden Strahlen, wenn das Prisma nicht vorhanden wäre, in dem Fokus bei f vereinigt würden; wird dagegen durch das Prisma eine Theilung des Lichts in der Art bewirkt, dass man zwei Bilder bei f′ und f″ erhält, deren Entfernung durch eine Verschiebung des Prismas in der Richtung der optischen Axe des Fernrohrs beliebig und messbar geändert werden kann.

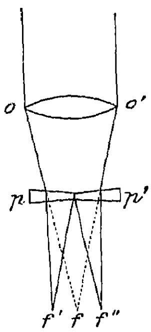


Fig. 594.

Das Mikrometer von BOSCOVICH[1]) beruht auf einem ganz ähnlichen Princip, nur in anderer Ausführung. CARL beschreibt dessen Einrichtung folgendermassen: „Man nimmt, um dieses Mikrometer zu erhalten, ein achromatisches (aus Flintglas und Crownglas zusammengesetztes) Glasprisma, dessen Flächen so nahe parallel sind, dass ein durch dasselbe hindurchgehender Lichtstrahl nur eine ganz geringe Ablenkung, beispielsweise von fünf Minuten, erfährt. Dieses Prisma schneidet man in der Mitte auseinander und nimmt aus jeder Hälfte ein gleich grosses kreisrundes Stück heraus. Hierauf bringt man die so vorbereiteten Prismen mit einer geeigneten ringförmigen Fassung in der Art in Verbindung, dass sie koncentrisch übereinander liegen und das eine System unabhängig vom andern gedreht werden kann; die Fassung muss dabei so eingerichtet werden, dass neben den Gläsern G, Fig. 595, noch ein Zwischenraum bis zum Ringe F vorhanden ist, durch welchen das Licht frei hindurchgehen kann.

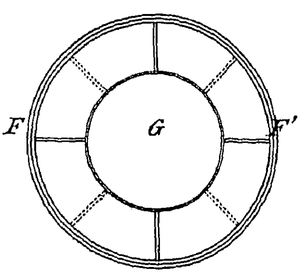


Fig. 595.

Es ist nun klar, dass, wenn die Prismen eine solche gegenseitige Lage haben, dass die durch sie erzeugten Ablenkungen übereinstimmen, die ganze Ablenkung, welche ein durchgehender Lichtstrahl erfährt, doppelt so gross ist als die durch ein einzelnes Prisma, in unserem Beispiele, also 10 Minuten. Es wird dagegen gar keine Ablenkung stattfinden, wenn die Prismen gerade entgegengesetzte Lage haben, d. h. wenn das eine derselben um 180° gegen die vorige Lage gedreht ist. Bei jeder andern Drehung wird die Ablenkung einen Werth erhalten, welcher zwischen 0 und der doppelten

---

Mikrometers angegeben. Einmal die hier skizzirte, dann hat er auch die dicken Seiten der Prismen aneinander stossen lassen. In seinen Apparaten lenkten die Prismen die Strahlen um etwa 18′ ab und waren verbunden mit einem Objektiv von 30 Zoll Brennweite.

[1]) Boscovich, Account of a new micrometer and megameter (Philos. Transact. für 1777, Thl. II, S. 789). Siehe auch dessen „Opera pertinentia ad opticam et astronomiam maxima ex parte nova et omnia huiusque inedita“ (Bassano 1785), Tom. II, Opusc. IV, S. 315. Boscovich ist zu seiner Konstruktion durch die Erfindung von Abbé Rochon's Doppelbildmikrometer veranlasst worden; er hält seine Konstruktion wegen der Vermeidung der Doppelbrechung für vortheilhafter. (Maskelyne's und Boscovich's Mikrometer finden sich in den Philos. Transact. gleich nebeneinander beschrieben.)

In den Jahren 1850 und 1860 ist dieses Mikrometer wieder von J. Herschel in seinen „Outlines of Astronomy“, S. 222, in Vorschlag gebracht und empfohlen worden.

Ablenkung eines einzelnen Prismas liegt und aus der Grösse der Drehung berechnet werden kann.

Bringt man nun die ganze Vorrichtung in den Lichtkegel eines Fernrohrobjektivs, sodass das Glas G gerade die Hälfte eines senkrechten Durchschnitts dieses Strahlenkegels einnimmt, so geht die Hälfte des Lichts unabgelenkt durch den Zwischenraum zwischen F und G hindurch, die andere Hälfte des Lichts erfährt eine Ablenkung, welche durch die Drehung des einen Prismas gegen das andere genau messbar ist.

Auch LAMONT hat mittelst eines einzigen Prismas eine Verdoppelung der Fokalbilder erzielt und auf diese Weise ein Mikrometer konstruirt. Doch waren seine Versuche nicht von Erfolg begleitet; sie führten ihn aber auf bestimmte physiologisch-optische Vorgänge, welche die Genauigkeit der Messungen am Doppelbildmikrometer zu beeinflussen geeignet sein können, wenn man ihnen nicht durch die Anordnung der Messungen und bei der Bestimmung der Konstanten Rechnung trägt (vergl. darüber Heliometer).

b. CLAUSEN's Mikrometer.

An Stelle der Prismen hat man auch einfach planparallele Glasplatten zu mikrometrischen Zwecken verwendet. Tritt ein Strahl senkrecht zu der Fläche einer solchen Platte ein, so wird er durch diese ungebrochen hindurch gehen und auch in seiner ursprünglichen Richtung wieder austreten. Wird aber die Platte gegen die Strahlenrichtung geneigt, so wird, wie Fig. 596 zeigt, eine von der Dicke der Platte und deren Neigungswinkel abhängige parallele Verschiebung des Strahles eintreten. Dieser Umstand ist bei den Mikrometern von CLAUSEN,[1]) SECCHI,[2]) PORRO[3]) und namentlich bei dem Ophthalmometer von HELMHOLTZ benutzt,[4]) dessen innere Anordnung Fig. 597 zeigt,[5]) letzteres dient allerdings anderen Zwecken. Die lineare Grösse der Verschiebung ergiebt sich leicht aus den Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \sin\alpha &= n\sin\beta \\ r &= d\sec\beta \\ s &= r\sin(\alpha-\beta) \\ s &= d(\sin\alpha - \cos\alpha\,\mathrm{tg}\,\beta) \end{aligned}\right\}$$

wo α der Winkel zwischen optischer Axe und Plattennormale, d die Dicke der Platte und n der Brechungsindex der Plattensubstanz ist.

Die Grösse s würde sodann, wenn dieser Apparat zwischen Objektiv und Okular eingeschoben ist, mit Hülfe der Entfernung der Drehaxe des Apparates vom Brennpunkt des Objektivsystems den Winkelwerth von s resp.

[1]) Astron. Nachr., Bd. 18, S. 95 und 96.

[2]) Comptes Rendus 1855, Bd. XLI, S. 906.

[3]) Comptes Rendus 1855, Bd. XLI, S. 1058.

[4]) In neuster Zeit ist dasselbe Mikrometer auch wieder von J. H. Poynting erfunden worden (vergl. Monthly Notices, Bd. LII, S. 556). Es ist überhaupt merkwürdig, wie oft diese Einrichtung erfunden zu sein scheint und wie wenig sie allgemein angewandt wird (vergl. Zschr. f. Instrkde 1894, S. 59).

[5]) G_1 und G_2 sind die zwei planparallelen Glasplatten, welche sich um die Zapfen Z_1 und Z_2 drehen, K_1 K_2 die Trommeln, an denen diese Drehungen, welche vermittelst der Zahnräder R_1 und R_2 durch Eingreifen zweier Triebe symmetrisch zur optischen Axe bewirkt werden, abgelesen werden können.

den Winkelwerth eines bestimmten Drehungswinkels der Glasplatte zu bestimmen gestatten. Lässt man an Stelle einer festen und einer beweglichen Platte beide aus derselben Platte geschnittenen Hälften sich durch eine gegeeignete Übertragung symmetrisch bewegen, so hat man natürlich zwei nach verschiedenen Seiten abgelenkte Bilder und kann die doppelten Winkel messen. Die letzte Einrichtung hat noch den erheblichen Vortheil, dass die beiden Bilder genau in derselben, gegen die eigentliche Brennebene des

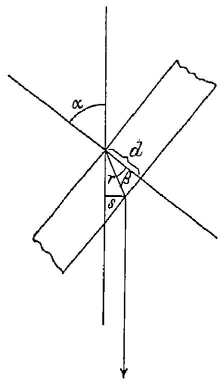


Fig. 596.

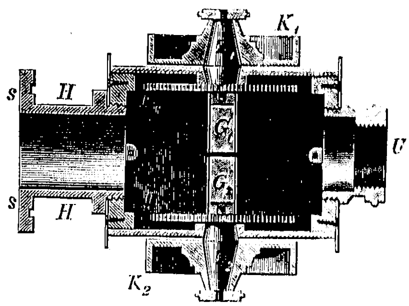


Fig. 597.

Objektivs ein wenig verschobenen Ebene entstehen. Wie bei allen bisher besprochenen Mikrometern ist es aber auch hier am besten, den Winkelwerth eines bestimmten an einem getheilten Kopfe der Umdrehungsaxe ablesbaren Drehungswinkels empirisch zu bestimmen, zumal hier derselbe in sehr erheblichem Maasse von der Grösse der letzteren abhängt, wie ein Blick auf die Formeln sofort zeigt. Das ist wohl auch der Hauptgrund, weshalb diese Mikrometerart, so einfach sie sonst ist, keinen Eingang für Winkelmessungen gefunden hat.[1])

C. Mikrometer aus doppelbrechenden Krystallen.

Ein weiteres Princip wurde in die Praxis der Doppelbildmikrometer dadurch eingeführt, dass an die Stelle der einfachen Brechungen resp. Reflexion in Glasplatten oder Prismen doppelbrechende Substanzen eingeführt wurden und die beiden Bilder, welche nun durch den ordentlich und ausserordentlich gebrochenen Strahl erzeugt werden zur Messung der Distanzen der Bilder (der Winkel zwischen denselben) benutzt werden.

---

[1]) Eine sehr vortheilhafte Verwendung findet aber das oben erwähnte auf diesem Princip beruhende Ophthalmometer z. B. bei dem Bestimmen des Durchmessers des kleinen Bildes der Objektivöffnung, welches vor dem Okular entsteht. Da dabei nur lineare Grössen in Betracht kommen, spielen die Entfernungen in der optischen Axe keine Rolle, und es kann daher mit Hülfe der obigen Formeln die Grösse der Bilder leicht bestimmt werden, wenn d bekannt ist, was mittelst eines Sphärometers leicht gefunden werden kann. Es tritt dann dieses Instrument mit grossem Vortheil an die Stelle der sogenannten Dynamometer (siehe S. 416).

a. Mikrometer von ROCHON und ARAGO.

Der Erste, welcher von diesem Umstande Gebrauch machte, war der Abbé ROCHON.[1]) Er schnitt aus Bergkrystall zwei Prismen, welche so beschaffen waren, dass sie zusammengesetzt ein Parallelopiped bildeten, dessen eines Flächenpaar senkrecht zur optischen Axe des Fernrohres stand. In Fig. 598 ist P das erste und P′ das zweite Prisma; in P ist die optische Axe des Krystalls parallel der des Fernrohrs, also senkrecht zur Fläche a b; im zweiten Prisma dagegen liegt dieselbe parallel zur brechenden Kante a, also senkrecht zur Papierebene. Tritt nun ein vom Objektiv kommendes Strahlenbüschel,

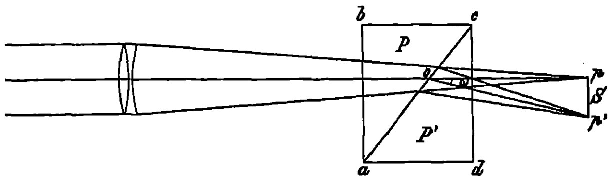


Fig. 598.

dessen Elemente immer nahe senkrecht zur ersten Fläche sein werden, durch diese in das Prisma, so wird es gar nicht oder nur sehr wenig gebrochen, es wird aber auf alle Fälle unzerlegt[2]) bis an die Trennungsfläche a c gehen, dort wird es aber in das ordentliche Strahlenbüschel und das ausserordentliche zerlegt; das erstere wird ungebrochen durch P′ hindurchgehen und sich in einem Punkt p vereinigen, wie dies fast an gleichem Orte stattgefunden haben würde, falls das ganze Prisma gar nicht vorhanden wäre; der zweite Theil des Strahlenbüschels jedoch wird sich in p′ zu einem Bilde des Objektpunktes vereinigen, nachdem er auch an der letzten Prismafläche noch eine kleine Ablenkung erfahren hat. Da die Grösse der Doppelbrechung von dem Material des Prismas und der Grösse des Winkels c a d abhängig ist, ist diese für dasselbe Prisma eine Konstante. Die Entfernung der beiden Bildpunkte p und p′ hängt daher nur von der Entfernung des Punktes o von der ersten Hauptebene oder der Brennebene des Objektivs p′p ab; es ist dann

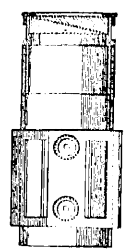
$$S = (o\,p)\,\mathrm{tg}\,\omega,$$

wo ω den Divergenzwinkel zwischen den beiden axialen Strahlen bedeutet,

[1]) Carl, Principien, S. 124, Anm. 3. Rochon, Recueil de mémoires sur la mécanique et la physique, Paris 1783. Mémoire sur les verres achromatiques adaptés à la mesure des angles et sur les avantages, que l'on peut tirer de la double réfraction pour la mesure précise des petits angles, Mém. des Soc. Sav. et Littér., Bd. I, S. 201. Das Historische über diesen Gegenstand ist zusammengestellt von Delambre, a. a. O., S. 645 ff. — Vergl. auch darüber Nova Acta Academicae Petropol., Bd. VI — weiter auch Philos. Transact., 1777, Thl. II, S. 789 ff. — bezügl. der eingehenden Theorie „Beobachtungsergebnisse der kgl. Sternwarte zu Berlin No. 6, Thl. II und III," wo Brendel und Wellmann dieses und das von Letzterem angegebene Mikrometer eingehend besprechen.

[2]) Eine ganz geringe Zerlegung findet allerdings doch statt, und die dadurch hervorgebrachte Verschlechterung der Bilder der Gestirne ist einer der wesentlichsten Übelstände dieses Mikrometers.

nachdem sie das Prisma verlassen haben.[1]) Die Strecke s kann also durch Veränderung der Entfernung o p ebenfalls verändert werden. Hat man nun ein solches Prisma zwischen Objektiv und Okular eines Fernrohrs eingeschoben, und man stellt die brechende Kante a senkrecht zur Verbindungslinie beider Komponenten eines Doppelsternes, so werden von dem Objekt im Ganzen vier Sternbilder erzeugt, die in einer geraden Linie stehen und von denen zwei dem einen und zwei dem anderen Sterne angehören. Verschiebt man nun das Prisma bei sonst unveränderter Lage längs der optischen Axe des Fernrohrs, so wird sich (wenn überhaupt der brechende Winkel des Prismas genügt) eine Stellung finden, in der sich zwei der Bilder, ein durch den ordentlichen Strahl und ein durch den ausserordentlich gebrochenen Strahl erzeugtes, decken; dann ist offenbar der Winkel, den die beiden Strahlen mit einander machen, gleich demjenigen, unter welchem die Distanz (d. h. der Winkelabstand) der beiden Sterne dem Beobachter erscheint. Da tg ω für das betreffende Prisma eine Konstante ist, so kann also von der Grösse o p, die man an einer geeigneten Skala abliest, auf den Winkelwerth von S geschlossen werden.



Die äussere technische Anordnung eines solchen Mikrometers zeigt Fig. 599. A A ist das auf seiner Aussenseite mit Skala versehene Rohr, welches bei O das Okular und bei B einen Ansatz zum Einschrauben in den Objektivtheil des Fernrohres trägt. Ein Längsschlitz gestattet das im Innern des Rohrs gleitende Rohrstück m m mittelst zweier hindurch tretenden Köpfe hin und her zu führen; an diesen ist das äussere Rohr umschliessend ein drittes kurzes Rohrstück n n befestigt, welches die den beiden Theilungen entsprechenden Verniers trägt. In m m ist bei p das doppelbrechende Prisma eingesetzt, dessen Stellung zum Okular also an den Skalen abgelesen werden kann.[2])

In der Nebenfigur ist ein zweiter Prismeneinsatz dargestellt, welcher ein Prismensystem mit anderem brechenden Winkel (einen anderen Werth von ω) besitzt. Sollen daher Distanzen von wesentlich verschiedener Grösse gemessen werden, so kann ein Umtausch der Prismen erfolgen; zu

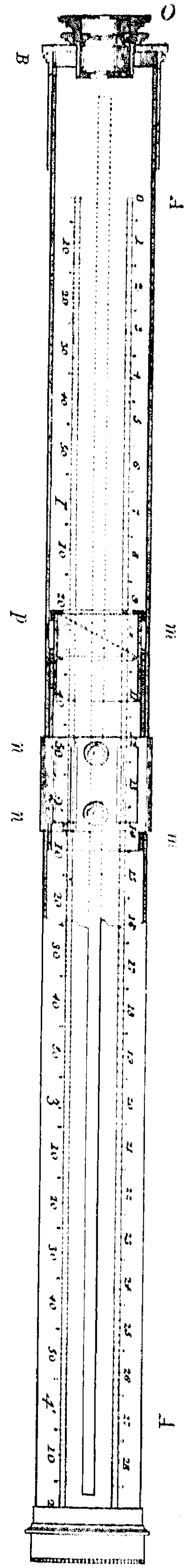


Fig. 599.
(Nach Pearson, Pract. Astronomy.)

---

[1]) Der Winkel ω ist für Bergkrystall bei einem brechenden Winkel von resp. 30°, 40°, 50° und 60° entsprechend 19′ 30″, 28′ 20″, 40′ 0″ und 57′ 40″.

[2]) In Fig. 600 ist eine etwas andere Anordnung des Rochon'schen Mikrometers dargestellt, wie sie Arago in seiner „Astron. populaire" beschrieben hat. Die Bezeichnungen sind soweit möglich korrespondirend.

disesem Zwecke sind bei dem hier dargestellten Instrument auch die beiden verschieden getheilten Skalen vorgesehen.

Die eben angegebene Einrichtung des Rochon'schen Mikrometers besitzt manche Übelstände, welche namentlich darin bestehen, dass der Achromatismus der Bilder, namentlich bei starker Vergrösserung, oft vieles zu wünschen übrig lässt; weiterhin beeinflussen bei geringer Entfernung zwischen Okular und Prisma kleine Fehler in den Krystallen oder an ihren geschliffenen Flächen die Beschaffenheit der Bilder erheblich, ebenso ist auch der Umstand, dass das Prisma zwischen Objektiv und Objektivbild steht für die Güte des letzteren mit Bedenken verknüpft. Dies veranlasste Arago eine

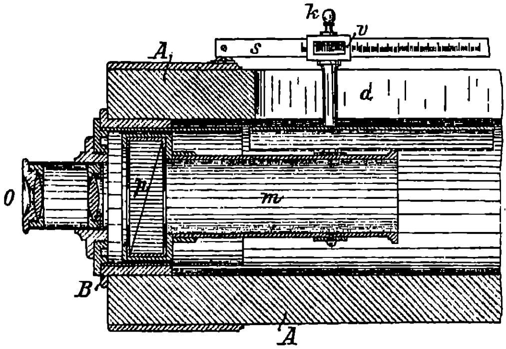


Fig. 600.

Vermeidung dieser Fehlerquellen dadurch herbeizuführen, dass er das Prisma zwischen Auge und Okular stellte. Anstatt nun das Prisma zu verschieben, machte er dafür die eine Linse des Okulars beweglich und bekam so verschiedene Äquivalentbrennweiten und damit veränderliche Vergrösserung.

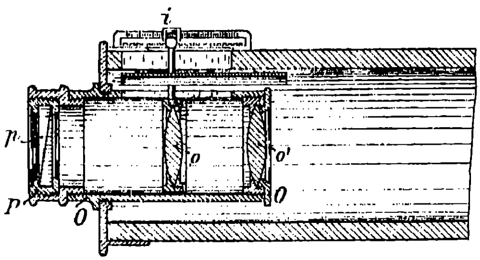


Fig. 601.

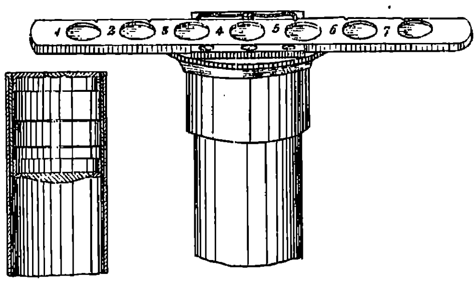


Fig. 602.

Aragos Anordnung stellt Fig. 601 dar, wo O O das Okularrohr, o die verschiebbare Linse mit Knopf und Index i, o' die feste Linse und p das vor das Okular gesetzte Prisma bedeutet.

Aber auch diese Konstruktion war wenig befriedigend, namentlich deshalb, weil nach jeder Veränderung der Äquivalentbrennweite für das Okular wieder eine neue Einstellung auf das Objektivbild nöthig wurde. Arago hat diesem Übelstand später dadurch abzuhelfen versucht, dass er die Linsen des Okulars wieder fest machte, dafür die Prismen aber auswechselbar, wie es Fig. 602 erkennen lässt. Allein auch diese Konstruktion hat, wie die

Rochon'sche und Arago's frühere ausserhalb Frankreichs nur sehr wenig Anklang gefunden und sind diese Mikrometer nur sehr wenig wirklich benutzt worden.[1]) Ihr Hauptverdienst, wenn man von einem solchen sprechen will, besteht darin, dass sie durch ihre Unvollkommenheit die Veranlassung wurden, mit Hülfe ähnlicher Mittel auf bessere Konstruktionen zu denken.

b. Wellmann's Mikrometer.

Ein ähnliches Mikrometer ist das in neuer Zeit von dem Astronomen Viktor Wellmann in Berlin angegebene, welcher an die Stelle des Prismas mit parallel oder senkrecht zur optischen Axe des Krystalls geschliffenen Endflächen das sogenannte Wollaston'sche Prisma setzte[2]) und durch dessen

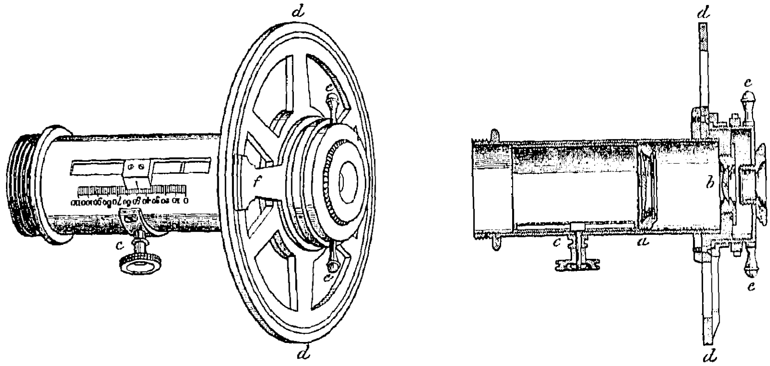


Fig. 603.

Anordnung vor dem Okular des Fernrohrs wesentliche Verbesserungen herbeiführte.

Betrachtet man durch ein solches Prisma z. B. ein im Fokus des Fernrohres ausgespanntes Fadenkreuz, so wird man diese Fäden im Allgemeinen doppelt sehen. Bei Drehung des Prismas werden die Fäden sich in bestimmten Lagen decken und sich in den um 90^0 davon entfernten Lagen

---

[1]) Arago, Sur un micromètre oculaire à double réfraction (Comptes rendus, Bd. 24, S. 400) — Poggendorff's Annalen der Physik, Bd. LXXI, S. 405 — Arago, Astronomie populaire, Bd. II, S. 74 ff.

[2]) Der Unterschied in der Wirkungsweise beider Prismen ist der, dass bei den Rochon'schen, wie wir gesehen haben, der Centralstrahl des vom Objektiv kommenden Strahlenkegels im ersten Prisma nicht gebrochen wird und erst im zweiten Prisma die Zerlegung stattfindet, während beim Wollaston'schen Prisma schon im ersten Prisma eine Zerlegung stattfindet und zwar so, dass man nach dem Durchgang durch das zweite Prisma zwei ausserordentliche Bilder wahrnimmt, von denen bei Drehung des Prismensystems keines an derselben Stelle bleibt, sondern beide sich um einander drehen, und beiden die Hälfte der Helligkeit des Objektes gleichmässig zukommt.

Einen Vorgänger hat Wellmann's Mikrometer in der von Pearson unter dem Namen „The ocular crystall Micrometer" beschriebenen Einrichtung (Pearson, Bd. II, S. 219), von der Fig. 603 eine im Vergleich mit dem Nachfolgenden leicht verständliche Darstellung giebt. Auch Fig. 604 stellt ein ganz ähnliches Mikrometer englischen Ursprunges dar; überhaupt findet man bei Pearson noch einige andere derartige Konstruktionen beschrieben und abgebildet.

im Maximum ihrer Entfernung befinden. Ihr Abstand $\varDelta$ von einander wird sich in gewissen Grenzen ausdrücken lassen durch $\varDelta = \mu \sin \varphi$, wo μ eine von der Konstruktion des Prismas abhängige Konstante (die sogenannte Maximalelongation) und φ den Winkel bedeutet, um welchen man das Prisma von der Koincidenzlage des betreffenden Fadens an gedreht hat. Dieser Umstand wird benutzt, um z. B. die gleichfalls verdoppelten Bilder der beiden Komponenten eines Doppelsternes oder die Endpunkte eines Planetendurchmessers auf je einen der Fäden einzustellen. Das nach Wellmann's Angabe von O. Fennel und C. Reichel zuerst für die Berliner Sternwarte angefertigte Instrument ist folgendermassen eingerichtet: An einem Ansatzrohr, mit diesem fest verbunden, befindet sich ein in halbe Grade getheilter Kreis a a von 11 cm Radius, Fig. 605. Innerhalb desselben dreht sich eine Kreisscheibe b b, welche in der Mitte eine Öffnung zur Aufnahme des Okulars mit Prisma hat. Diese Öffnung c ist kreisförmig und mit einem kleinen, nach innen gerichteten Ansatz d versehen, welcher in einen Schlitz des Okularrohres eingreift und dadurch eine Drehung desselben verhindert. Das Okularglas steckt, mit dem

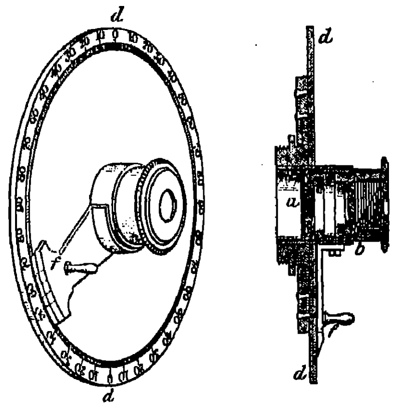


Fig. 604.

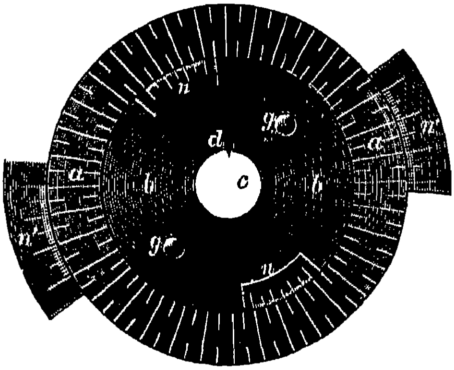


Fig. 605.

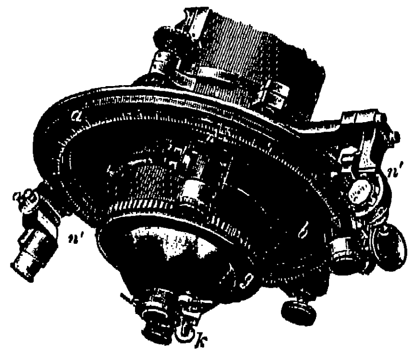


Fig. 606.

Prisma fest verbunden, in einem mit dem erwähnten Schlitz versehenen Rohr, welches in die Öffnung c geschoben wird. An diesem Rohre befindet sich eine in 0,2 mm getheilte Skale, welche es ermöglicht, das Okular stets in eine ganz bestimmte Entfernung vom Fadenkreuz einzustellen, und eine Klemme k, Fig. 606, welche diese Einstellung sichert. Auf der Kreisscheibe b b sind an zwei gegenüber liegenden Stellen zwei Nonien n n angebracht, welche eine Messung der Drehung bis auf 1′ gestatten; g g sind zwei Knöpfe, mittelst deren man die Scheibe b b dreht. Um gleichzeitig Positionswinkel messen zu können, ist das ganze Ansatzrohr um die optische Axe des Fernrohrs drehbar, und mit dem Fernrohr fest verbunden sind zwei Nonien n′ n′, welche

gleichfalls eine Ablesung auf 1′ gestatten. Die Drehung des ganzen Ansatzrohrs kann durch einen Excenter geklemmt werden. In der Fokalebene — also innerhalb der Öffnung c — ist ein Fadenkreuz von je drei Fäden ausgespannt, deren Winkelabstände um ein geringes kleiner sind als das doppelte der Maximalelongation μ, sodass also der ganze Raum zwischen ihnen durch ein bewegliches Fadenbild, entweder von der einen oder von der anderen Seite her, bestrichen werden kann. Hierdurch werden Messungen von Abständen bis zu nahe dem Fünffachen der Maximalelongation ermöglicht. Das angewandte Prisma hat einen brechenden Winkel von 45°, die Vergrösserung ist 400fach. Ausserdem sind noch Kombinationen von 600, 300 und 200facher Vergrösserung mit Prismen von 25°, 45° und 70° brechenden Winkel, welche von der Firma Schmidt & Haensch angefertigt sind, verwendbar. Fig. 606 giebt eine perspektivische Ansicht des Apparates, wie er in neuerer Zeit für den Refraktor der Urania-Sternwarte gebaut worden ist.[1])

Der Vorgang bei der Messung mit einem solchen Mikrometer ist folgender: Denkt man sich der Einfachheit wegen ein einfaches Fadenkreuz, so wird, wie oben gesagt, in einer bestimmten Stellung des Prismas das Gesichtsfeld den Anblick von Fig. 607 gewähren. Diese Stellung wird durch Drehung des äusseren Kreises a bewirkt und zwar wird dabei zugleich der Faden F F′

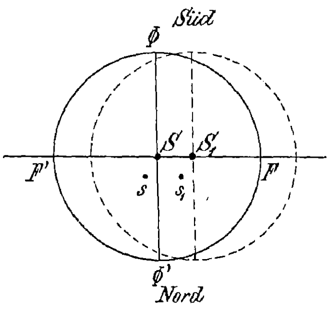


Fig. 607.

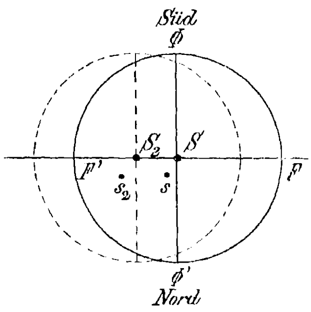


Fig. 608.

parallel der täglichen Bewegung gestellt. S, s und S_1, s_1 sind dann die Bilder eines Doppelsterns und Φ Φ' das eine Bild des Vertikalfadens; die Kreisablesung mag dann R sein. Dreht man dann den inneren Kreis mit dem Prisma um 180°, so wird der Anblick wie in Fig. 608 entstehen. Werden beide Stellungen z. B. mit Hülfe von schmalen Lichtlinien oder durch wirkliche Koincidenz genau bestimmt und die betreffenden Angaben am Kreise abgelesen, so hat man diejenigen Punkte desselben, deren Winkelangabe C um 90° vermehrt den Ausgangspunkt der Positionswinkelzählung angeben; gleichzeitig haben in den Koincidenzstellungen die beiden Bilder des Stundenfadens ihre grösste Elongation (μ) erreicht. Nun drehe man den äusseren Kreis weiter, bis bei unveränderter Koincidenz der Bilder des Fadens F F′ dieser mit der Verbindungslinie der beiben Komponenten S und s in der Weise zusammenfällt, wie es die Fig. 609 darstellt. Es fallen dann auch die beiden

[1]) Die Abbildung verdanke ich Herrn Dr. Witt von der Urania-Sternwarte.

ausserordentlichen Bilder S_1 und s_1 in diese Linie. Ist nun π die Ablesung des Kreises, dann ist $\pi + 90^0 - R$
gleich dem Positionswinkel P des Doppelsterns.

Die Lage der vier Sternbilder in einer geraden Linie bildet den Ausgangspunkt für die Beobachtung der Distanzen.

Man klemme den äusseren Kreis bei der Ablesung π und drehe nun den inneren Kreis, bis die Verbindungslinie S_1 s parallel dem Faden $\Phi\,\Phi'$ und seinem ausserordentlichen Bilde wird, Fig. 610; die Ablesung dieses Kreises sei A_1. Alsdann drehe man den inneren Kreis weiter, bis nachein-

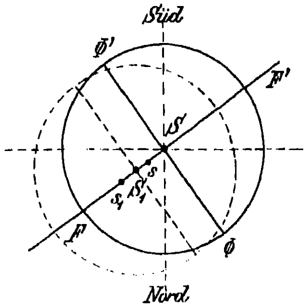


Fig. 609.

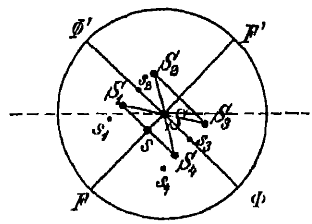


Fig. 610.

ander im zweiten Quadranten s_2 und im dritten s_3 auf den Faden $\Phi\,\Phi'$ zu liegen kommen und endlich im vierten Quadranten S_4 s diesem Faden parallel wird. Die drei zugehörigen Ablesungen des Kreises seien A_2, A_3, A_4. Auf diese Weise erhält man die folgenden vier Bestimmungen der Distanz Δ des Doppelsterns:

$$\begin{aligned} \Delta &= \mu \cos (A_1 - C) \\ &= -\mu \cos (A_2 - C) \\ &= -\mu \cos (A_3 - C) \\ &= \mu \cos (A_4 - C). \end{aligned}$$

Zur Bestimmung der Konstanten μ ist centrale künstliche Beleuchtung nach den Erfahrungen Knorre's und Wellmann's solcher durch das Tageslicht vorzuziehen, wegen der bei letzterer auftretenden Polarisationserscheinungen. Der Einfluss etwaiger Ablese- und Einstellungsfehler d C, sowie die Abweichung (ε) des Winkels zwischen den Fäden von 90^0 machen die Einführung dieser Fehler in obige einfache Formeln nöthig, sodass man allgemein für die vier Quadranten erhält:

I. Quadrant: $\mu \cos (A_1 - C) = \Delta - \mu (\delta C + \varepsilon) \sin 1'' \sin (A_1 - C)$

II. Quadrant: $-\mu \cos (A_2 - C) = \Delta + \mu (\delta C + \varepsilon) \sin 1'' \sin (A_1 - C)$

III. Quadrant: $-\mu \cos (A_3 - C) = \Delta - \mu (\delta C + \varepsilon) \sin 1'' \sin (A_1 - C)$

IV. Quadrant: $\mu \cos (A_4 - C) = \Delta + \mu (\delta C + \varepsilon) \sin 1'' \sin (A_1 - C)$

In den Gleichungen für den zweiten und vierten Quadranten sind dabei Glieder zweiter Ordnung in Bezug auf $\delta C + \varepsilon$ vernachlässigt. Die Grössen auf der linken Seite lassen sich unmittelbar aus den Beobachtungen berechnen, und man erhält alsdann durch die Auflösung der Gleichungen eine doppelte

Bestimmung von Δ und $\delta C + \varepsilon$. Aus dem Gesammtausdruck der rechten Seite lässt sich jetzt auch leicht erkennen, dass in der That die Werthe der nebeneinander liegenden Quadranten konstante Unterschiede aufweisen, diejenigen der gegenüberliegenden Quadranten aber einander gleich sein müssen.

Vom Fehler ε kann man frei werden, wenn man die Distanzen an demselben Faden beobachtet, wie die Positionswinkel, also bei der Distanzmessung den äusseren Kreis auf $\pi + 90^0$ statt auf π einstellt. Die Berechnung muss dann nach den folgenden Formeln ausgeführt werden:

$$\begin{array}{ll} \text{I. Quadrant:} & \mu \sin (A_1 - C) = \Delta + \mu (\delta C) \sin 1'' \cos (A_1 - C) \\ \text{II. Quadrant:} & \mu \sin (A_2 - C) = \Delta - \mu (\delta C) \sin 1'' \cos (A_1 - C) \\ \text{III. Quadrant:} & -\mu \sin (A_3 - C) = \Delta + \mu (\delta C) \sin 1'' \cos (A_1 - C) \\ \text{IV. Quadrant:} & -\mu \sin (A_4 - C) = \Delta - \mu (\delta C) \sin 1'' \cos (A_1 - C) \end{array}$$

daraus geht hervor, dass ein einziger Faden genügt, wenngleich zwei mehr Bequemlichkeit bieten.

Es ist aber bei der Auswerthung der erlangten Messungen noch ein Umstand zu berücksichtigen, welcher diesem Mikrometer eigenthümlich ist und der hier noch erwähnt werden muss. Die beiden Fadenbilder, welche entstehen, sind im Allgemeinen nicht parallel, wie die genaue Theorie leicht lehrt (bei dem Berliner Instrument betrug ihre Konvergenz etwa 20′), daher kommt es, dass das μ nicht für das ganze Gesichtsfeld von gleicher Grösse ist und zonenweise sich ändert. Die diesen Umstand berücksichtigenden Formeln erhalten dann für die Berechnung der Distanz Δ die Form:

$$\begin{array}{ll} \text{Für Fadenbild } A_1: & \Delta (1 + \varepsilon \cos 2\omega) = \pm \mu \sin \omega \mp \varepsilon \beta \sin 2\omega \\ \text{,, \quad ,, } \quad A_2: & \Delta (1 - \varepsilon \cos 2\omega) = \pm \mu \sin \omega \pm \varepsilon \beta \sin 2\omega \end{array}$$

und weiter für die Bilder des senkrecht zu A stehenden Fadens B, falls dieser zur Bisektion benutzt wird

$$\begin{array}{ll} \text{für Fadenbild } B_1: & \Delta (1 + \varepsilon \cos 2\omega') = \pm \mu \sin \omega' + \varepsilon \alpha \sin 2\omega' \\ \text{,, \quad ,, } \quad B_2: & \Delta (1 - \varepsilon \cos 2\omega') = \pm \mu \sin \omega' + \varepsilon \alpha \sin 2\omega', \end{array}$$

wo immer das obere Zeichen für ω resp. ω' zwischen 0^0 und 180^0 und das untere Zeichen für ω resp. ω' zwischen 180^0 und 360^0 gilt. Hier ist ω resp. ω' der auf die Koincidenzstellung der A resp. der B Bilder bezogene Drehungswinkel des Prismas, ε die Abweichung des Fadenwinkels von der Parallelität, während α resp. β die Entfernung der Bildkoincidenz von A resp. von B Faden ist, welche sich eventuell schätzen lässt. Das ε ist eine Konstante, welche von der Natur des Prismas abhängt. Sie lässt sich sowohl rechnerisch als auch durch Beobachtung finden; im ersteren Falle hat man, wenn p der brechende Winkel des Prismas ist, $\varepsilon = {}^1/_2\, k \, \mathrm{tg}^2\, p$, für Quarzprismen z. B. ist $k = 8{,}0656$.[1]) Aus Beobachtungen findet man ε auf folgende

[1]) Für Prismen nach Wollaston's Anordnung findet man z. B.

$p =$	10^0	20^0	30^0	40^0	45^0	50^0	55^0	60^0
$\varepsilon =$	0′,6	2′,6	6′,7	14′,1	20′,0	28′,4	40′,8	60′,0
$\mu =$	11′	22′	36′	52′	62′	74′	88′	107′

Weise: Man stellt am Vernier des inneren Kreises den Winkel $\varphi = C$ ein, so dass die Bilder des Fadens A koincidiren; darauf dreht man das ganze Mikrometer so, dass die beiden Bilder eines Sternes von geringer Deklination bei ihrer Bewegung durch das Gesichtsfeld auf dem Faden A bleiben. Dadurch erhält man eine Ablesung P_0 für die Richtung des scheinbaren Parallels am Positionskreis. Klemmt man alsdann den äusseren Kreis fest, und stellt am inneren die Winkel $\omega = 45^0$ oder $\omega = 315^0$ ein, so wird man den Fadenbildern das Maximum der Divergenz geben; beide werden nicht mehr die Richtung des Parallels bezeichnen, aber trotzdem wird das Bild 1 des Sternes 1 parallel dem Faden A_1, und das Bild des Sternes 2 parallel dem Faden A_2 sich bewegen. Bringt man nun Stern 1 auf das Bild A_2, so wird, damit es bei seinem Durchgange durch das Gesichtsfeld diesem Fadenbild parallel bleibe, das Mikrometer um ε nach der einen Seite gedreht werden müssen, während man, damit der Stern 2 dem Fadenbild A_1 entlang läuft, das Mikrometer um ebenfalls ε nach der anderen Seite drehen muss. Es wird dann die halbe Differenz der beiden Ablesungen $= \varepsilon$ und die halbe Summe $= P_0$ sein müssen.

Um den absoluten Werth von $\mu = \mu_0$ zu finden, welcher den Formeln zu Grunde zu legen ist, hat man $\mu = \mu_0 = 2\,\varepsilon\,a \sin\omega - 2\,\varepsilon\,b \cos\omega$ und kann durch geeignet angeordnete Durchgangsbeobachtungen von Polsternen durch die Fadenbilder die Konstanten μ_0, a und b bestimmen. M. Brendel giebt für diese Bestimmung folgende Anweisung:[1]) Lässt man einen Polstern sich senkrecht zum Faden A bewegen, und stellt man $\varphi = 90^0$ ein, so wird, falls das Bild des Sternes 1 vorangeht, dieses zuerst den Faden A_2 erreichen, dann wird es am Faden A_1 anlangen im selben Zeitmoment, in welchem Stern 2 an den Faden A_2 tritt, und schliesslich wird Stern 2 den Faden A_1 passiren. Diese drei Zeitmomente seien t_1, t_2, t_3. Es können dann die für ein Doppelsternpaar abgeleiteten Formeln angewendet werden, indem zunächst der Ort des Sterns zu den Zeiten t_1 und t_2 als die beiden Komponenten angesehen wird; die Fadendistanz wird dann $\Delta = (t_2 - t_1)\cos\delta$ sein, wo δ die Deklination des Sterns ist. Der entsprechende zur Anwendung gekommene Faden ist A_2, und so wird:

$$(t_2 - t_1)\cos\delta = \frac{\mu}{1+\varepsilon} = \mu_0(1-\varepsilon) - 2\,\varepsilon\,a.$$

Analog ist

$$(t_3 - t_2)\cos\delta = \mu_0(1+\varepsilon) - 2\,\varepsilon\,a.$$

Stellt man dann $\omega = 270^0$ ein und wiederholt die Beobachtung, wo dann Stern 2 vorangeht, so wird

$$(t_2 - t_1)\cos\delta = \mu_0(1+\varepsilon) + 2\,\varepsilon\,a$$
$$(t_3 - t_2)\cos\delta = \mu_0(1-\varepsilon) + 2\,\varepsilon\,a,$$

woraus sich a bestimmt.

Bewegt sich der Stern in umgekehrter Richtung, so sind die entsprechenden Formeln:

[1]) Beobachtungsergebnisse der kgl. Sternwarte zu Berlin, Heft 6, Th. II, S. 64.

$\omega = 90^0$	$\omega = 270^0$
$(t_2 - t_1) \cos \delta = \mu_0 (1 + \varepsilon) - 2 \varepsilon a$	$(t_2 - t_1) \cos \delta = \mu_0 (1 - \varepsilon) + 2 \varepsilon a$
$(t_3 - t_2) \cos \delta = \mu_0 (1 - \varepsilon) - 2 \varepsilon a$	$(t_3 - t_2) \cos \delta = \mu_0 (1 + \varepsilon) + 2 \varepsilon a.$

Wiederholt man die Beobachtungen am Faden B, so wird:

Stern 1 voran	Stern 2 voran
$(t_2 - t_1) \cos \delta = \mu_0 (1 - \varepsilon) \mp 2 \varepsilon b$	$(t_2 - t_1) \cos \delta = \mu_0 (1 - \varepsilon) \mp 2 \varepsilon b$
$(t_3 - t_2) \cos \delta = \mu_0 (1 + \varepsilon) \mp 2 \varepsilon b$	$(t_3 - t_2) \cos \delta = \pi_0 (1 - \varepsilon) \mp 2 \varepsilon b,$

wo die oberen Zeichen für $\omega = 0^0$ und die unteren für $\omega = 180^0$ gelten.[1]) Aus der Kombination dieser Antrittsbeobachtungen für ω in den vier Quadranten wird dann μ_0, a und b erhalten. Daraus geht aber auch hervor, dass, falls man die Beobachtungen selbst in den vier Quadranten gleichmässig ausführt, das Mittel der vier Werthe frei von den Fehlern des Mikrometers wird.

Wird dem Prisma eine bestimmte Form gegeben, welche M. Brendel aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet hat und welche bewirkt, dass das ε gleich 0 wird, so kann man überhaupt bei der Anwendung eines solchen Prismas die ganz einfache oben S. 605 gegebene Formel $\Delta = \mu \sin \omega$ für alle Theile des Gesichtsfeldes anwenden; denn es wird dann μ überall einen konstanten Werth haben, wenn der brechende Winkel ein bestimmtes Maximum von etwa 35^0 nicht überschreitet. (Für ein solches Prisma liegt die Hauptaxe des ersten Theilprismas parallel der brechenden Kante, während die des zweiten in eine dazu senkrechte Ebene zu liegen kommen muss.[2]) Einige Beispiele werden den Gebrauch des Mikrometers und die Bestimmung seiner Konstanten noch näher erläutern. Der Stern 51 H. Ceph. wurde zur Bestimmung der Neigung beider Fadenbilder benutzt, da seine langsame Bewegung, besonders bei starker Vergrösserung, sehr günstig hierfür ist und er doch nicht so nahe am Pol steht, dass die Krümmung seiner Bahn merklich wird. Der scheinbare Parallel fand sich im Mittel aus mehreren Beobachtungen $P_0 = 342^0\ 31',0.$

Die einzelnen Durchgänge ergaben dann[3])

bei $\omega = 135^0$	$P_1 = 342^0\ 50',5$		$P_2 = 342^0\ 11',5$
	also arctg ε	$19',5$	$19',5$
bei $\omega = 225^0$	$P_1 = 342^0\ \ 9',5$		$P_2 = 342^0\ 49',0$
	also arctg ε	$21',5$	$18',0$

Im Mittel ist also arctg $\varepsilon = -19',6$.

Die Bestimmung der Konstanten μ_0, a, b wurde an demselben Tage mit demselben Stern ausgeführt, dessen Durchgang durch die Fadenbilder A und B beobachtet wurde. Es fand sich nach den Bezeichnungen der letzten Gleichungen für den Werth von $t_3 - t_1$:

[1]) Den Zeitpunkt t_2 braucht man im Allgemeinen nicht zu beobachten, da er im Mittel je zweier Werthe herausfällt.

[2]) Bezüglich genauerer Angaben über die optischen Verhältnisse in einem solchen Prisma muss ich an dieser Stelle, um nicht zu weitläufig zu werden, auf die Originalarbeit verweisen (Beobachtungsergebnisse d. kgl. Sternwarte zu Berlin, Heft 6).

[3]) Die Beobachtungen wurden am 5. Nov. 1890 mit einem Wollaston'schen Prisma, dessen brechender Winkel 45^0 betrug, bei 375facher Vergrösserung am Berliner Refraktor ausgeführt.

$t_3 - t_1$ Faden A		$t_3 - t_1$ Faden B	
Stern 2 voran $\omega = 90^0$	13ˢ73	Stern 1 voran $\omega = 0$	13ˢ75
Stern 1 voran $\omega = 270^0$	13ˢ66	Stern 2 voran $\omega = 180^0$	13ˢ81

Die Zahlen sind Mittel aus 8 resp. 9 Einzeldurchgängen; es wird also:

$$\mu_0 = 2\,\varepsilon\, a = 10'',01 \qquad \mu_0 = 2\,\varepsilon\, b = 10'',03$$
$$\mu_0 + 2\,\varepsilon\, a = 9\ ,96 \qquad \mu_0 + 2\,\varepsilon\, b = 10\ ,07$$
$$\mu_0 = 9'',99 \qquad \mu_0 = 10'',05$$

Die Grössen a und b werden hiernach unbestimmbar klein, ein Zeichen, dass das Prisma gut justirt ist.

Beispiel einer Doppelstern-Beobachtung:

γ Delphini.

1891 Nov. 1.

$\alpha = 20^h 41^m 36^s$; $\delta = +15^0 44',1$ C = 195°13′ Fok. Einstellung 13,3

Quadr.	π_0 Links	Rechts	Mittel	Einstellg. am Fad. A: $\varDelta$ Rechts	Links	Mittel
I.	265°,41′	266°,21′	266°,1′	245°,4′	245°,27′	245°,16′
II.	174 ,21	175 ,49	175 ,5	324 ,15	324 ,59	324 ,37
III.	86 ,14	86 ,1	86 ,8	65 ,34	65 ,24	65 ,29
IV.	355 ,8	356 ,32	355 ,50	144 ,53	144 ,37	144 ,45

$\pi_0 = 265^0,46$
$\pi_0 + 90 = 355\ ,46$
$R = 84\ ,18$
$P = 271^0,28$

Quadr.	$A_0 - C$	lg. μ cos $(A_0 - C)$	$\varDelta$
I.	50°,3′	1,0517	11,26
II.	129 ,24	1,0465	11,13
III.	230 ,16	1,0495	11,21
IV.	309 ,32	1,0477	11,16

$\frac{1}{2}$ (I + III) = 11,235 } $\varDelta$ = 11″,190
$\frac{1}{2}$ (II + IV) = 11,145 }

Die mittleren Fehler ergeben sich auf bekannte Weise

$$r_P = \pm 26'; \quad r_\varDelta = \pm 0'',013.$$

Der Einfluss, welchen die Temperatur auf den Winkelwerth des μ ausübt, ist von V. Wellmann auch näher untersucht worden.[1]) Ein solcher entsteht einmal durch die Veränderung der Brechungsindices der Krystalle überhaupt, dann aber auch durch die Änderung des brechenden Winkels, wie sie aus den verschiedenen Ausdehnungskoefficienten optisch einaxiger Krystalle in und senkrecht zur Axe gelten. Des weiteren sind natürlich auch die Veränderungen des dioptrischen Systems des Fernrohrs durch die Temperatur (Brennweite des Objektivs u. s. w.) von einiger Einwirkung. Die Wellmann'sche Untersuchung ergiebt, dass für die verschiedenen Prismen die

[1]) Beobachtungsergebnisse etc., S. 75.

Veränderung des brechenden Winkels d p und die durch die Veränderung der Brechungsindices herbeigeführten Variationen von μ sind:[1])

$d\mu = 0'',0006 \cdot \frac{1}{40} t^0$	Für ein Rochon'sches Prisma	$dp = 0'',66\, t^0$ bei $p = 45^0$
$d\mu = 0\,,0012 \cdot \frac{1}{40} t^0$	„ „ Wollaston'sches „	$dp = -0\,,66\, t^0$ „ $p = 45^0$
$d\mu = 0\,,0002 \cdot \frac{1}{40} t^0$	„ „ Brendel'sches „	$dp = 0\,,21\, t^0$ „ $p = 35^0$

Wegen der Änderung der Brechungsindices erhält man für das Rochon-sche und Brendel'sche Prisma $d\mu = -0'',018$ und für das Wollaston'sche Prisma $d\mu = -0'',037$ bei 40^0 Temperatur-Differenz. Das sind aber Werthe, welche in der Praxis kaum von Belang sein dürften. Immerhin wird es sich empfehlen, schon mit Rücksicht auf das Verhalten der optischen Elemente des Objektivs, Bestimmungen von μ bei möglichst verschiedener Temperatur anzustellen, um so ein Urtheil über das Verhalten des benutzten Apparates bei Temperaturänderungen zu gewinnen; vergl. darüber das beim Heliometer Gesagte S. 616.

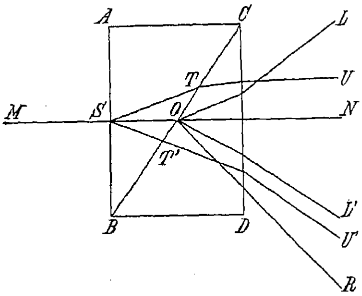


Fig. 611.

3. Auswerthung der Messungen mit Doppelbildmikrometern.

Die Resultate der Messungen erhält man beim Heliometer, wie bei allen Doppelbildmikrometern, entweder in der Form von Schraubenumdrehungen, in Theilen einer äquidistanten Skala oder auch in Form von Graden, Minuten und Sekunden einer Kreistheilung. Das letztere ist immer der Fall bei den Positionswinkeln, aber auch bei denjenigen Doppelbildmikrometern, bei welchen die Distanzen, ähnlich wie es beim Wellmann'schen Instrument geschieht, durch Ablesung eines Positionskreises erhalten werden, wenn auf irgend eine Weise bekannt geworden ist, welchen Winkel der dem 0-Punkte entsprechende Durchmesser dieses Kreises mit dem Stundenkreis für die bestimmte Lage des Fernrohrs (den Stundenwinkel der Absehenslinie) macht. Da man diesen Winkel für den Meridian selbst als den Indexfehler des Kreises zu bezeichnen pflegt, so setzt sich die Verbesserung, welche an die Ablesung des Positionskreises anzubringen ist, um den Positionswinkel der Verbindungslinie der beiden beobachteten Objekte zu erhalten, zusammen aus diesem Indexfehler k und einem von den Aufstellungsfehlern und dem Stundenwinkel τ abhängigen Theile. Drückt man, wie es für diesen Fall am zweckmässigsten ist, die Abweichung der Polaraxe des Instruments von der Richtung nach dem Pol, durch die rechtwinkeligen Koordinaten x und y aus,

[1]) In der Fig. 611 ist M O N resp. M O R der Strahlengang in einem Rochon'schen Prisma. M O L resp. M O L' der in einem Wollaston'schen, während in dem Brendel'schen Prisma der Strahlengang für die wirksamen Bilder etwa M S T U resp. M S T' U' ist.

wo $x = \varDelta \cos \pi$ und $y = \varDelta \sin \pi$ wird, wenn $\varDelta$ den Abstand des Instrumentenpols vom Himmelspol und π den Positionswinkel dieser Richtung bezeichnet, so bekommt man die Verbesserung des Positionswinkels in der Form

$$p - p_1 = k + \lambda + J \quad \text{für Axe folgend}$$
$$\text{und } p - p_1 = k + \lambda - J \quad \text{für Axe vorangehend.}$$

Dabei ist zur Abkürzung gesetzt:

$$\lambda = (x \sin \tau - y \cos \tau) \sec \delta + \beta \cos \varphi \operatorname{tg} \delta \sin \tau,$$
$$J = i_1 \sec \delta - c \operatorname{tg} \delta + \mu (\sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos \tau) \; i_1 = i + \alpha \sin \varphi$$

und es bedeutet ausser den oben erläuterten Bezeichnungen

$90 + i$ die Neigung der Stundenaxe zur Deklinationsaxe,

$90 + c$ den Winkel zwischen Absehenslinie des Fernrohrs und der Deklinationsaxe

α die Biegung der Deklinationsaxe,

β die Biegung des Fernrohrs im Horizont,

μ die aus einer Drehung des Positionskreises entstehende Abweichung des Kreisnullpunktes von der normalen Lage desselben, welche in der Ost- und Westlage verschiedene Vorzeichen erhält.[1])

Die x und y, i, α, β und μ werden aus den sogenannten Aufstellungsbeobachtungen erhalten, welche im Kapitel „Äquatoreale“ näher behandelt werden, während k durch besondere Beobachtungen gefunden wird. Hat man es mit einem Doppelbildmikrometer zu thun, bei welchem die Absehenslinie des Fernrohrs durch die bezüglich der Axe konstante Lage von Objektiv und Okular gesichert ist, so wird man k einfach dadurch finden, dass man durch Einführung eines Hülfsfadens, den man in gewöhnlicher Weise bei ruhendem Fernrohr der täglichen Bewegung parallel stellt, diese Richtung bestimmt und sodann durch Einstellen der Verdopplungseinrichtung in diejenige Lage, in der die Verdopplung in der Richtung des Fadens erfolgt. Eine entsprechende Ablesung am Positionskreis ergiebt sodann den Nullpunkt. Oder man misst, ebenso wie es auch für das Okular-Heliometer am zweckmässigsten ist, den Positionswinkel zweier Objekte, für welche derselbe als bekannt angenommen werden kann, und vergleicht die erhaltenen Kreisablesungen mit den rechnerischen Daten.

Etwas anders liegt die Sache bei dem Objektiv-Doppelbildmikrometer. Dort wird durch die Bewegung der ganzen Objektivhälften, sowohl bei der früher einseitigen Bewegung derselben, als auch bei der jetzt allgemein eingeführten symmetrischen Verschiebung, die Absehenslinie des Fernrohrs selbst alterirt und es ist deshalb nöthig, dass man die Bestimmung des Indexfehlers des Positionskreises in zwei diametralen Lagen des Objektivkopfes oder des ganzen Fernrohrs ausführt. Aber auch dazu eignen sich nach den jetzigen Erfahrungen am besten die Messungen des Positionswinkels zwischen Sternen für welche die Lage der Verbindungslinie gegen den Stundenkreis anderweit berechnet werden kann. Aus einer Verbindung solcher Messungen bei nega-

[1]) Vergl. dazu das Kapitel über die parallaktisch aufgestellten Instrumente — Bessel, Untersuchungen I, S. 4—54.

tiven und positiven Stundenwinkeln in der Nähe des Meridians lässt sich dann sowohl auf den Indexfehler, als auch auf die bei Heliometern besonders wichtige Grösse μ ein Schluss ziehen.[1])

Für die kleinen Fraunhofer'schen Heliometer findet sich μ meist zu 1—3 Bogenminuten, während Bessel für das grosse Königsberger Heliometer aus einer längeren Reihe von Beobachtungen 1',9 fand. Auch selbst bei den Repsold'schen Heliometern, bei denen das Rohrende der Axe allerdings stark belastet, ist μ nicht ganz verschwindend, wenn auch nach den in Göttingen gemachten Erfahrungen sehr konstant; sein Betrag fand sich zu + 0',2 aus Sternbeobachtungen und 0',3 aus Kollimatorvergleichungen.[2])

Dabei ist allerdings der Umstand zu berücksichtigen, dass nach den Erfahrungen der meisten Doppelsternbeobachter bei der Messung des Positionswinkels nicht unerhebliche persönliche, physiologische Fehler auftreten, die von dem Werthe des Positionswinkels selbst abhängig sind. Zur Eliminirung dieser Fehler hat man in neuerer Zeit solche Messungen bei allen Mikrometern nur mit Hülfe eines sogenannten Reversionsprismas ausgeführt. Auch zur scheinbaren Umkehrung der täglichen Bewegung z. B. bei Meridianbeobachtungen und zur Herstellung scheinbar konstanter Lagen der zu messenden Distanzen u. s. w. pflegt man diesen einfachen Apparat jetzt sehr häufig anzuwenden.

Eine weit eingehendere Untersuchung der einzelnen dieser Mikrometer macht die Umwandlung der zunächst in Längenmaass erhaltenen Verschiebungen der Linsenhälften in Bogenmaass nöthig. Man kann einmal davon ausgehen, die Dimensionen des Fernrohrs und seiner Theile sowohl, als auch die Veränderungen mit der Temperatur u. s. w. auf Grund einer direkten Ausmessung der einzelnen Theile zu bestimmen und mittelst dieser Daten und derjenigen der messenden Theile (Schraube, Skala u. s. w.) die Verwandlung in Bogenmaass vornehmen. Es hat sich aber in der Praxis gezeigt, dass dieses Vorgehen wohl zur Vergleichung der auf anderem, rein empirischem Wege gefundenen Resultate sehr interessant ist, dass aber der letztere Weg für die Auswerthung der Beobachtungen der zuverlässigere sein dürfte. Ja man kann vielleicht sogar sagen, dass es gerade bei Doppelbildmikrometern auch wegen mehrfach auftretender physiologischer Fehlerquellen und solcher, deren Ursachen noch gar nicht erkannt sind, durchaus nöthig erscheint, alle

---

[1]) Von Bessel sowohl als auch von den anderen Beobachtern, welche sich in neuerer Zeit eingehend mit Heliometer-Beobachtungen beschäftigt haben, wurde fast immer die Bestimmung des Indexfehlers und die Grösse μ mit Hülfe eines Kollimators, der am besten im Horizont des Instrumentes nach Norden oder Süden aufgestellt wurde, ausgeführt. Man schraubte zu diesem Zweck die Objektivhälften um zwei oder drei verschiedene Beträge auseinander und brachte nun die so entstehenden beiden Bilder des Kollimatorfadenkreuzes durch Drehung in Position in eine solche Lage, dass sie bei alleiniger Drehung des Heliometerfernrohrs um die horizontal gestellte Deklinationsaxe genau an derselben Stelle des Gesichtsfeldes des Okulars (auf einem Hülfsfadennetz) erschienen. Die zugehörigen Ablesungen des Positionskreises geben dann gehörig vereinigt den Indexfehler, während ihr halber Unterschied in beiden Lagen des Fernrohrs die Grösse μ bestimmte.

[2]) Vergl. Astron. Mitteilungen der Göttinger Sternwarte, Th. IV, S. 100.

Reduktionsdaten, soweit sie instrumenteller Natur sind, auch mit Hülfe von Beobachtungen an cölestischen Objekten unter möglichst gleichen Umständen, wie die zu reducirenden Beobachtungen anzustellen. Die namentlich vom Wechsel der Temperatur erzeugten Änderungen der Konstanten müssen dagegen durch besondere Beobachtungen bei möglichst verschiedenen Wärmegraden angestellt werden.

Es sind etwa die folgenden Daten, welche bekannt sein müssen, um eine gemessene Distanz auf eine Normalannahme des Skalenwerthes zu „reduciren".

1. Werth einer Schraubenrevolution der messenden Schraube oder des Werthes eines Skalentheils bei 0° C.
2. Veränderung dieses Werthes für 1° C.
3. Fehler des messenden Theiles (Theilungsfehler, Schraubenfehler), dann auch der sogenannte Gang (Run) eines etwa benutzten Mikrometermikroskops.
4. Lage der Fokalebene des Objektivs für 0°.
5. Veränderung der Lage dieser Ebene mit der Temperatur.
6. Für die Heliometer älterer Konstruktion und Okular-Doppelbildmikrometer noch die Veränderung des Skalenwerthes mit der Grösse der gemessenen Distanz wegen der geradlinigen Führung der Linsenhälften und der entstehenden Distorsion der Bilder. Das auf die Ermittlung des Werthes bei Mikrometern aus doppelbrechenden Krystallen bezügliche ist oben schon erläutert.

Ad 1. Der Werth einer Schraubenrevolution wird, wie bei den Schraubenmikrometern, am besten durch direkte Messung bekannter Distanzen am Himmel bestimmt, ebenso die unter 2. genannte Veränderung mit der Temperatur durch Messung bei möglichst verschiedener Temperatur. Es eignen sich dazu und sind jetzt fast allgemein in Verwendung eine Reihe von Sterndistanzen ähnlich dem oben erwähnten Perseusbogen. Eine Kombination der kleinen und grossen Distanzen unter sich selbst oder nach Reduktion auf den durch die beiden Endsterne gehenden grössten Kreis, auf welchem die zwischen liegenden nahezu auch gelegen sein sollen, giebt neben den Skalen- (Schrauben)werth auch zugleich ein Urtheil über dessen Abhängigkeit von der Distanz. Die gebräuchlichsten dieser Bögen grössten Kreises sind:

A. Cygnuskreis für 1890,0

Stern	Grösse	α	δ	Distanz	Jährl. Änderung
a	6,8	$20^h 46^m\ 9,7^s$	$+49°\ 48,0'$	a b 2864,92″	− 0,0126″
b	7,3	46 8,1	50 22,4	b c 1015,27	+ 0,0067
c	6,3	46 14,0	50 54,3	c d 2198,74	+ 0,0103
d	6,0	45 23,5	51 30,1	d e 1866,24	− 0,1639
e	6,0	44 35,7	52 0,4	e f 2262,62	+ 0,0801
f	6,2	43 9,9	52 35,7		

B. Hydrakreis für 1890,0

Stern	Grösse	α	δ	Distanz	Jährl. Änderung
a	7,2	$8^h 23^m 54{,}2^s$	$-0^\circ 35{,}6'$	a b 2399,24″	+ 0,0017″
b	7,7	23 30,3	+ 0 3,9	b c 2118,52	+ 0,0100
c	7,7	22 35,7	+ 0 36,5	c d 2197,57	— 0,0440
d	8,0	21 50,7	+ 1 11,3	d e 3101,16	+ 0,0289
e	7,5	20 6,8	+ 1 56,0	e f 1905,66	+ 0,0081
f	6,5	19 52,9	+ 2 27,6		

C. Polbogen 1875,0

a	6,5	$10^h 59^m 3{,}9^s$	$+86^\circ 19{,}0'$	ae = 6779,94″ + 0,0186 (t — 1887,0)
e	6,5	13 0 47,9	86 33,5	

D. Grusbogen 1888,0

a		$21^h 38^m 57{,}7^s$	$-47^\circ 55{,}1'$	a b 1272,96″	+ 0,051″
b		40 58,5	47 48,7	b c 3538,16	— 0,014
c		46 8,6	47 21,5	c d 3487,39	+ 0,123
d		49 39,2	47 0,6	d e 1659,71	+ 0,030
e		52 14,5	46 52,6	e f 2744,93	— 0,100
f		56 31,2	46 40,0		

Für die Doppelbildmikrometer mit ebener Führung ergiebt sich für die Distanz $\varDelta$ dann ein Ausdruck von der Form

$$\varDelta = r\, s_0 + \frac{r}{100}\, x + \left(\frac{r}{100}\right)^2 y + \left(\frac{r}{100}\right)^3 z,$$

aus dem allerdings das quadratische Glied meist herausfällt und wo r die Anzahl der Schrauben- oder Skalentheile, s_0 der Werth eines solchen für die Distanz 1 und x, y, z zu bestimmende Konstanten sind. (Für das Fraunhofer'sche Heliometer der Sternwarte zu Göttingen fand sich z. B.

$$\varDelta = 17{,}91183''\, r - 0{,}00054''\, r - 0{,}000000053''\, r^3.)$$

Für die Heliometer mit Cylinderführung ist eine solche Abhängigkeit noch nicht nachgewiesen.

Ad 2. Bezüglich dieses Punktes muss ich hier auf das, was im Kapitel Fernrohr über die Veränderung der Brennweite der Objektive durch die Temperatur gesagt ist, verweisen. Dazu kommt noch die Ausdehnung der Skalen oder Schrauben. Beide Veränderungen und ihre Gesammtwirkung lassen sich natürlich auch rechnerisch verfolgen, aber auch hier wird das beste Mittel zu ihrer Bestimmung die Messung der eben angeführten Sterndistanzen bei möglichst verschiedener Temperatur sein.

Ad 3. Über die Bestimmung der Schraubenfehler ist früher schon das Nöthige beigebracht worden. Handelt es sich aber um die Ablesung von ebenen Skalen, so müssen auch deren Theilungsfehler eingehend bestimmt werden. In Göttingen wurde ein Verfahren angewendet, welches vielleicht nicht das Minimum der Arbeit erfordert, welches aber in Anbetracht der Einfachheit und Übersichtlichkeit der Rechnung von Vortheil ist. Die Skalen

können so gestellt werden, dass man mittelst des Mikroskops am Objektivkopf (60), Fig. 574, das Intervall Theilstrich 14—104 auf Skala I mit 214—304 und 304—394 auf Skala II und 214—304 auf Skala II mit 14—104 und 104—214 auf Skala I vergleichen konnte; so erhielt man eine Beziehung dieser 4 Skalenhälften zueinander, die dann zur Bestimmung der relativen Länge der Hälften bezüglich der Summe der Strecken (14—194) + (214—394) führten, wobei die Striche 14 und 394 als richtig angenommen wurden. So erhielt man also die Fehler von 104 und 304 und die von 194 und 214, welche letztere beiden gleich zu setzen waren.[1])

Eine theoretisch vielleicht elegantere und in der Ausführung kürzere Methode hat Dr. LORENTZEN von der Bamberger Sternwarte in den Astronomischen Nachrichten[2]) angegeben. Die Theilungsfehler des Bamberger Heliometers sind auch danach untersucht worden. Wegen der Details muss ich aber hier auf diese Arbeit verweisen; das Princip der Vergleichung einzelner Skalentheile mit einander ist aber auch hier ganz ähnlich gewahrt. In Leipzig wurde behufs Untersuchung der Skalen der Objektivkopf ganz abgenommen und die Hebelverbindung der beiden Schieber gelöst, so dass diese ganz willkürlich gegen einander verstellt werden konnten; ausserdem ist auch das Ablesemikroskop direkt zur Bestimmung bei geeigneter Aufstellung verwendet worden.[3])

Besondere Vorsicht ist bezüglich des Vorzeichens der Theilungsfehler zu beobachten; allgemeine Vorschriften lassen sich aber da natürlich nicht geben, sondern es ist von Fall zu Fall der Besonderheit der Umstände Rechnung zu tragen.[4]) Ist eine Umdrehung der Schraube nicht gleich dem entsprechenden Skalenintervall, d. h. ist ein Gang (Run) vorhanden, so muss dieser bei der Auswerthung der Ablesungen berücksichtigt werden; vergl. darüber S. 158.

Ad 4. Da es für eine Mikrometermessung von besonderem Werth ist, dass diejenige Ebene, in welcher das Bild zu Stande kommt, auch mit der zusammenfällt, in welcher der Messapparat oder auf welche beim Heliometer auch das Auge genau akkommodirt ist, so muss man dafür sorgen, dass das Okular auch dementsprechend für alle Temperaturen (und den jeweiligen Augenzustand) eingestellt ist. Wie aus der Beschreibung des Heliometers hervorgeht, befindet sich zum Zwecke der Ermittlung dieser Einstellung am Okularauszug eine Längsskala und ausserdem auch noch das Okular selbst auf

[1]) In Göttingen sind die Theilungsfehler von zwei Beobachtern unabhängig von einander bestimmt worden, jeder gebrauchte dazu bei Hülfleistung eines Schreibers etwa 90 Stunden ohne die Rechnungsarbeit, diese war aber sehr gering. Vergl. V. J. S. der Astron. Gesellsch., Bd. XXVI, S. 106.

[2]) Dr. G. Lorentzen, Über die Untersuchungen der Skalen eines Heliometers (Astron. Nachr., Bd. 131, S. 217 und Astron. Nachr., Bd. 135, S. 353 mit Beispiel).

[3]) Das Nähere darüber ist mitgetheilt in: B. Peter, Beobacht. mit dem sechszöll. Heliometer der Leipziger Sternw. II. Abhandlung, Leipzig 1898. Über die Bestimmung der Theilungsfehler ist auch besonders zu vergleichen: Hanson, Astron. Nachr., Nr. 388.

[4]) Bei dem grossen Heliometer der Göttinger Sternwarte läuft die Bezifferung des Untersuchungsmikroskops z. B. in umgekehrter Richtung (in Folge der Reflexion an einem Prisma) als am Ablesemikroskop, es mussten also die mit ersterem bestimmten Werthe für das Ablesemikroskop umgekehrte Zeichen erhalten.

einer Scheibe mit Schraubengewinde, welche dasselbe um sehr kleine Stücke messbar zu verschieben gestattet. Man kann nun zwei Wege einschlagen, um die den einzelnen Temperaturen entsprechende Stellung des Okulars zu erfahren. Nimmt man an, dass das Auge von sehr konstanter, besser vielleicht sehr geringer, Akkommodationsfähigkeit sei, so kann man das System Auge—Okular als zusammengehörig betrachten und die Stellung des Okulars direkt durch Fokusirung auf geeignete Objekte (am besten enge Doppelsterne, welche eben innerhalb der Trennungsmöglichkeit liegen) bei verschiedener Temperatur ermitteln. Man erhält dann eigentlich aus diesen Fokusirungen die relative Änderung der Brennweite des Objektivs gegenüber der Änderung der Länge des Hauptrohres nicht getrennt, sondern vermischt mit eventuellen Änderungen im System Auge—Okular. Unter Annahme einer gewissen Konstanz dieses Systems aber doch die gewünschte Grösse der Veränderung in der Lage der Brennebene. Das andere wohl richtigere Verfahren besteht darin, für jeden Abend resp. für jede Fokusirung das Okulur für den jedesmaligen Akkommodationszustand des Auges auf ein mit dem Okularauszug des Fernrohrs (das Okular selbst ist zu diesem Zwecke in einem besonderen Röhrchen verschiebbar) verbundenes Fadenkreuz scharf einzustellen und dann mit diesem nun für alle Umstände gleichwerthig gemachten Systeme Okular—Auge die Fokusirung vorzunehmen. Damit ist eine erheblich grössere Gewähr gegeben, die angedeutete und für die Reduktion nöthige Änderung in der relativen Brennweite direkt zu erhalten. An den verschiedenen Sternwarten ist die eine resp. die andere dieser Methoden im Gebrauche. Ich persönlich würde die zweite für die richtigere halten, vorausgesetzt, dass das Fadenkreuz für eine sichere und scharfe Einstellung geeignet ist.

Da die Verschiebung der Brennebene des Objektivs in Bezug auf die Temperatur des Instrumentes bestimmt werden soll, ist es von grosser Wichtigkeit, diese möglichst genau zu erhalten. Das ist aber mit grossen Schwierigkeiten verbunden, wie wir schon oben sahen. Am besten hat sich bisher die Benutzung einer Anzahl gewöhnlicher Thermometer, die mit dem Rohr in möglichst innige Verbindung gebracht sind, bewährt. Das eine soll sich sehr nahe den Skalen befinden, das andere nahe dem Okular und ein drittes noch in einer mittleren Zone des Instrumentes. Eine gewisse Willkür in der Kombination von deren Angaben wird aber doch kaum zu vermeiden sein. Wenn diese Kombination nur immer in derselben Weise erfolgt, so ist der Einfluss eines kleinen Fehlers derselben allerdings für Nachtbeobachtungen nicht gross;[1]) anders wird es aber z. B. bei Sonnenmessungen. Dabei ist die Temperaturvertheilung im Rohr sicherlich auch bei geeigneter Beschirmung immer noch eine recht verschiedene und man hat daher sehr häufige und sorgfältige Temperaturablesungen zu machen. Durch die starke Erwärmung in der Nähe des Brennpunktes wird aber auch eine erhebliche Luftströmung im Rohr erzeugt, welche ihre Wirkung darin zeigt, dass nach längerer Be-

---

[1]) Überhaupt beträgt bei den neueren Heliometern der Fehler, welchen man bei der Messung einer Distanz von 100 Skalentheilen bei einer um 1° irrigen Annahme der Temperatur zu befürchten hat, nur etwa 0,015 Bogensekunden.

schirmung des Instrumentes die Bilder erheblich ruhiger sind, als wenn eine Einstellung einmal länger als 20—30 Sekunden gedauert hat. Sollte es sich mechanisch bei Wahrung der nöthigen Festigkeit ermöglichen lassen, das Heliometer durchbrochen zu arbeiten, sodass ein schneller Ausgleich der von den Lichtstrahlen durchschnittenen Luftmassen erfolgen könnte, so würde ich das für einen sehr erheblichen Vortheil halten. Da nach den Principien der Messung an Doppelbildmikrometern aber die Lage der Ebene, in welcher mit Bezug auf die Brennebene des Objektivs die Einstellungen gemacht sind, bekannt sein muss, um von dieser auf eine Normalebene reduciren zu können, so pflegt man als solche Normalebene gewöhnlich diejenige zu nehmen, welche der Brennweite des Objektivs für 0° Cels. entspricht. Es entstehen daraus zwei Theile der Reduktion der gemessenen Distanz auf 0°, wie man zu sagen pflegt. Nämlich einmal die Reduktion auf die der Temperatur des Beobachtungsmomentes entsprechende Brennebene, und sodann eine solche von dieser auf die Brennebene für 0°. Die erstere Reduktion wurde bis vor Kurzem stets umgekehrt proportional der Brennweite des Objektivs angenommen, d. h. man hatte die gemessene Distanz S zu multipliciren mit dem Faktor $\left(1 + \frac{1}{f} [N_t - O]\right)$, wo O die Okularstellung bei der Beobachtung, N_t die Normalstellung für die betreffende Temperatur t und f die Brennweite des Objektivs bedeutet. Der andere Theil der Reduktion ist dann von der Form $S\,(1 + \alpha\, t)$, wo α der sogenannte Temperaturfaktor ist, der aber die Gesammtabhängigkeit der Messung einer Distanz von der Änderung der Brennweite des Objektivs, der Änderung der Skalenwerthe und was sonst noch Einfluss haben kann, ausdrückt, also die oben unter 2. angeführte Korrektion mit enthält. Der erste Theil würde sich rein rechnerisch ermitteln lassen, aber es hat sich gezeigt, dass in der That der Faktor $\frac{1}{f}$ nicht ganz mit der Praxis übereinstimmt. Besonders zur Aufklärung dieses Umstandes bei sehr verschiedenen Okularstellungen ausgeführte Messungen derselben Distanz (des Polbogens) haben ergeben, dass der wirklich diesen Messungen entsprechende Faktor für verschiedene Beobachter und verschiedene Instrumente etwas veränderlich ist; im Allgemeinen aber wenig kleiner, als es die Theorie fordert. Auch der Faktor α hat sich für verschiedene Beobachter an demselben Instrumente als nicht ganz gleich erwiesen; für verschiedene Instrumente ist er selbstverständlich verschieden.

Der Faktor für Reduktion auf die Normalebene, wie ihn die Beobachtungen liefern, schwankt zwischen $0{,}90 \cdot \frac{1}{f}$ bis $1{,}00 \cdot \frac{1}{f}$ gegenüber dem der Theorie von $\frac{1}{f}$, so dass z. B. für das grosse Göttinger Heliometer an Stelle des Ausdrucks $S\left(1 + \frac{1}{f} [N_t - O]\right) = S\,(1 + 0{,}0381\,[N_t - O])$ zu setzen wäre für

Schur $S\,(1 + 0{,}0366\,[N_t - O])$ und für

Ambronn $S\,(1 + 0{,}0341\,[N_t - O])$.

Ähnliche Abweichungen finden andere Heliometerbeobachter und zwar auch für die älteren Fraunhofer'schen Heliometer.[1])

Für a hat sich aus einer grossen Anzahl von Messungen des Polbogens bei einer Temperaturamplidute von nahe 40^0 und strenger Ausgleichung z. B. für das Göttinger Repsold'sche Heliometer ergeben für 1^0 C. Temperaturzunahme

Schur $-0{,}000790 \pm 0{,}000042$ Skalentheile,
Ambronn $-0{,}000909 \pm 0{,}000033$ „

Für die Ableitung der Normalstellung des Okulars resp. des Systems Okular—Auge für eine bestimmte Temperatur sind nach Obigem Fokusirungen bei verschiedener Temperatur nöthig. Die am Göttinger Heliometer ausgeführten Bestimmungen ergeben auch für diesen Faktor für beide Beobachter verschiedene Werthe, nämlich es ist, wenn $N_t = N_0 + \omega\, t^0$ ist, für

Schur $\omega = +\,0^{mm}{,}0192 \pm 0{,}0018$
Ambronn $\omega = +\,0\,,\,0252 \pm 0{,}0012$.

Dieser Unterschied mag sich eventuell durch Verschiedenheiten der Akkommodationsfähigkeit der Augen der beiden Beobachter mit der Temperatur erklären lassen. Er würde wahrscheinlich verschwinden, wenn dabei der oben angegebene zweite Weg zu seiner Ermittlung eingeschlagen worden wäre. Im Schlussresultat spielen die Unterschiede in den Koefficienten, die die Abhängigkeit der Distanz von Temperatur und Okularstellung darstellen und zur Reduktion auf 0^0 und Okularstellung für 0^0 dienen, keine grosse Rolle, da dieselben, wie leicht einzusehen, nicht unabhängig von einander sind und sich ihre Wirkung im Resultat fast ganz aufhebt.[2]) Es könnte deshalb von solcher Reduktion beinahe abgesehen werden (wie es z. B. Dr. Elkin auch gethan hat), wenn man für alle Messungen dem Okular die der Temperatur 0 entsprechende Stellung geben würde. Das hat aber doch ganz erhebliche Bedenken, da bei starken Abweichungen der Temperatur vom Normalwerth die Bildqualität ausserordentlich verschlechtert wird; denn die Ebene, welche in letzterem Falle für das System Auge—Okular als Pointirungsebene dient, weicht dann bedeutend von derjenigen ab, in welcher das Objektivbild zu Stande kommt. Würde man dem Okular jedesmal die der betreffenden Temperatur entsprechende Stellung geben, so könnte man ohne Korrektur wegen des Einflusses der Temperatur auf die Okularstellung auskommen, das hat aber insofern seine Bedenken, als sich namentlich bei Sonnenbeobachtungen die Temperatur und damit die normale Okularstellung schnell ändert und somit auch das Okular häufig verstellt werden müsste, was abgesehen von einer

---

[1]) Vergl. darüber A. Auwers, die Beobachtungsergebnisse der Deutschen Venusexpeditionen und die Mittheilungen der Göttinger Sternwarte, Heft III und IV.

[2]) Es würde thatsächlich z. B. für den Verfasser sein: für 100 Skalentheile wegen Okularverschiebung für 1^0 C. in Folge Brennweiteänderung

$$+\,0'',0252 \times 0'',0341 = +\,0'',000859,$$

für die Reduktion der gleichen Distanz auf $0^0 - 0'',000909$, so dass also nur $-\,0'',000050$ übrig bleiben, das macht für 40^0 C. und die grösste messbare Distanz (etwa 180 Skalentheile) nur eine Reduktion von $-\,0'',14$.

gewissen Inhomogenität von Tages- und Nachtbeobachtungen sehr leicht zu Irrthümern Veranlassung geben würde.

Ad 6. Was den letzten Punkt anlangt, so sind mehrfach theoretische Betrachtungen über den Einfluss der geradlinigen Führung und der zum Theil dadurch entstehenden Distorsion der Bilder angestellt worden, aber auch durch direkte Beobachtungen hat man empirisch denselben zu ermitteln versucht.[1]) Dahin gehört auch die bei den alten Heliometern unter dem Namen der „optischen Verbesserung" angebrachte Korrektion, welche dann von Belang wurde, wenn die Objektivhälften einzeln verschiebbar waren und bei der Messung die eine derselben axial stehen blieb, während die andere verschoben wurde. Um die Bilder dann noch von nahe gleicher Güte und in einer mittleren Brennebene zu beobachten, war auch, wie oben erwähnt, das Okular seitlich verschiebbar, vergl. Fig. 564, und konnte sowohl in Position als auch der Verschiebung der Objektivhälften entsprechend verstellt werden. Durch Herstellung dieser Verschiebung in verschiedenem Betrag für dieselbe Distanz wurde dann eine Korrektionsformel abgeleitet, welche angab, um welchen Betrag die betreffende Distanz für axiale Stellung der Objektivhälften zu korrigiren sein würde. Da heutigen Tages diese Art der Messung nicht mehr ausgeführt wird, soll auch hier nicht näher darauf eingegangen werden. Dagegen ist allerdings für die Heliometer mit ebener Führung sowie für das Airy'sche Mikrometer und die diesen ähnlichen Arten der Doppelbildmikrometer eine Abhängigkeit des Skalenwerthes von der Grösse der gemessenen Distanz zu erwarten und auch nachgewiesen. Um die Form dafür zu finden, sollte meiner Meinung nach aber ausschliesslich der empirische Weg eingeschlagen werden.

Zur besseren Erläuterung der einzelnen Reduktionen, wie sie die Messung einer Distanz und eines Positionswinkels mit einem neuen Heliometer erfordert, sei es gestattet, für die von den deutschen Astronomen fast allgemein benutzte Anordnung noch ein kurzes Beispiel hinzuzufügen.

Distanzmessung.

1890 März 12

Uhrzeit	Axen-lage	Obj.-Therm. Skala I	Okul.-Therm. Skala II	Säulen-Therm. Blende	Lufttemp. Fok.-Einst.	Güte des Bildes R. S.
			(a — d) Hydrae			
9^h 4^m		$+ 5^0,0$	$+ 6^0,3$	$+ 5^0,8$	$+ 3,0$	
6	v	21	387	keine	21,40	3 2,3
14		188	220			

Rechnung:

Ablesung der Mikrometer-Trommel		Skalen I	Skalen II	Mikrometer-Mittel	Skale II	Mittel
1) 3 58,8	1)	21	387	+ 408,85		
4 8,9	2)	188	220	+ 543,00		
2) 4 90,8	1) — 2)	167	167	— 134,15	= 166,6646	166,8323
5 45,2						

[1]) Vergl. darüber namentlich die Arbeiten von H. Battermann, Astron. Nachr., Bd. 120, S. 337, und betreffs der Bildqualität: B. Peter, Beobacht. am 6zöll. Heliometer d. Leipziger Sternw., Th. I, sowie auch: Finsterwalder, Die von optischen Systemen grösserer Öffnung etc. erzeugten Bilder, München 1891.

Weitere Rechnung.

Datum	Sternzeit	Bar., Therm.	Instr. Temperatur	Normal Ok.-St.	Zeitl. Ok.-St.	N—Z	Gemessene Distanz	Korrektionen wegen: Theilfl.	Gang d. M.-Sch.	Ok.-St.	Temp.	Refr.	Aberr.[1]	Redukt.-Distanz	Bemerkungen Redukt. wegen Eigenb.	Güte des Bildes R. S.[2]
1890 März 12	$9^h\ 10^m$	755^{mm} + 3°	+ 6°	21,56	21,40	+ 0,16	166,8323	— 13	+ 1	+ 91	— 90	+ 1119	— 109	166,9322	+ 0,0002	2 2,3

Dabei ist angenommen:
Veränderung des Skalenwerthes für 1° C. auf 100 Skalentheile: + 0,0009
" der Fokaleinstellung für 1° C.: + 0,025 mm
Korrektion wegen Fokaleinstellung für 100 Skalentheile und 1 mm + 0,0035
Normal-Okularstellung für 0° C.: 21,40 mm.

Positionswinkel-Messung.

Uhrzeit ($\Delta\mu = -2^m$)	Axe	Positionskreis: 0	′	Strich vorherg.	Index	Strich nachfolg.	Mittel ½ (v + n)	Rechnung: Diff. (Mittel-Index)	Mittel der Indices	Mittel aus beiden Einstellungsrichtgn.	Gesammt-Mittel
$10^h\ 18^m$	v	343	51	9′ 59″	9′ 40″	0′ 3″	0′ 1″	343° 50′ + 0° 21″	343° 50′ 26″	343° 50′ 18″	343° 50′ 24″,5
				8 25	7 55	8 25	8 25	+ 0 30	50 11	50 31	
				9 47	9 50	9 48	9 48	— 0 2	343 50 46		
				8 20	7 58	9 23	8 22	+ 0 24	16		
				Durchgeschraubt							
			52	0 12	9 38	0 28	0 20	50 + 0 47			
				8 48	8 5	8 52	8 50	+ 0 45			
				0 43	9 30	9 50	9 46	+ 0 16			
10 35				8 14	8 0	8 20	8 17	+ 0 17			

Weitere Reduktion.

Sternzeit	Stunden-Winkel	Axe	Bar., Therm.	Abgeles. P. W. + k	Korrektionen wegen: λ	J	Refr.	Praec. u. Aberr.	Auf d. Jahres-Afg. Red. P. W.
$10^h\ 25^m$	$+ 2^s\ 1^m$	v	755^{mm} + 2°	343° 50′,80	— 0′,03	+ 1′,14	+ 0′,45	— 0′,05	343° 52′,31

Dabei ist angenommen:

k = + 0′,40	i = + 0,25
x = — 0′,3	J = — 1,3
β = — 0,2	μ = + 0,2
i_1 = + 0,98	

[1]) Bei Sonnenmessungen kann hier an Stelle der Aberration der Einfluss der Parallaxe gesetzt werden.
[2]) R = Ruhe; S = Schärfe (1 = sehr gut; 4 = schlecht).

V.

Instrumente
zu
besonderen Zwecken.

Zwölftes Kapitel.

Instrumente zur Abbildung cölestischer Objekte in objektiver Form.

Wie in der Einleitung erwähnt, ist heute nicht der praktischen Astronomie einzige Aufgabe die, die Orte der Gestirne am Himmel fest zu legen, um so auf diese gestützt, nach längeren Zeiträumen Ortsveränderungen derselben wahrnehmen und daraus Schlüsse über den Bau und die Bewegungsverhältnisse in unserem Weltall ziehen zu können. Das Auffinden neuer Sterne und die Veränderung der Helligkeit einzelner Gestirne, sowie die Erlangung der Kenntniss von Vorgängen auf der Sonnenscheibe und die Entdeckung der Spektralanalyse haben auch der Astronomie weitgehende Probleme gestellt. Zu deren Lösung bedient man sich bestimmter, meist mit den grossen Fernrohren (Refraktoren oder Reflektoren) verbundener Hülfsinstrumente, welchen hier auch eine Besprechung gewidmet werden muss, nicht um deren Konstruktion erschöpfend zu erläutern, sondern nur um die wesentlichsten Typen kennen zu lernen. Eine eingehende Besprechung würde viel zu weit ab führen von den hier verfolgten Zwecken und weitere Erörterungen aus Physik und Chemie nöthig machen. Solche specielle Erörterungen sind aber auch um so mehr überflüssig, als wir über die verschiedenen Richtungen dieser Studien vorzügliche und von erfahrenen Fachmännern verfasste Specialwerke besitzen[1]) auf die also hier füglich verwiesen werden kann und welche soweit möglich dem Folgenden zu Grunde gelegt worden sind.

Im Allgemeinen sind die hierher gehörigen Instrumente dreierlei Art:

1. Instrumente, welche zur objektiven Abbildung einzelner Himmelskörper oder Theilen des gestirnten Himmels dienen, mag dabei das Bild nach Art der Projektionsapparate auf einer geeigneten Fläche aufgefangen werden oder mag an die Stelle dieser Fläche die lichtempfindliche Platte der photographischen Kamera treten, welche das erzeugte Bild für spätere Untersuchungen festzuhalten gestattet.

2. Apparate, welche die Helligkeit der Gestirne, der Planeten oder einzelner Theile der Sonnenoberfläche zu messen erlauben.

3. Hierher gehören diejenigen Instrumente, welche nach Entdeckung der Spektralanalyse ein weites Feld der astronomischen Forschung angereiht

---

[1]) Müller, Instrumente und Principien der Photometrie des Himmels — Scheiner, Spektralanalyse der Gestirne und Scheiner, Photographie der Gestirne.

haben. Es sind das die Spektralapparate, welche uns entweder allein oder in Verbindung mit den grösseren Fernrohren ganz unerwartete Aufschlüsse über die physische Beschaffenheit der Himmelskörper geliefert haben.

Eine scharfe Trennung aller dieser Instrumente ist heutigen Tags kaum mehr möglich, da man mit dem Spektroskop das Photometer verbunden hat, um die Intensität des Lichtes verschiedener Wellenlänge im Spektrum mit einander zu vergleichen, da man ferner die Spektra mit Hülfe der photographischen Platte aufnimmt, um sie später der Messung zu unterziehen und da man sogar die mehr oder weniger starke Einwirkung des von einem Gestirn ausgesandten Lichtes auf die empfindliche Silberschicht selbst photometrisch verwertet.

Das vom Objektive eines Fernrohres im zweiten Brennpunkt entworfene Bild eines Objektes wird, wie bekannt, im Allgemeinen durch ein Okularsystem mittelst des Auges betrachtet. Dadurch wird also im gewissen Sinne eine subjektive Wahrnehmung des Details des Bildes oder sonstiger Eigenschaften desselben (seine scheinbare Bewegung) ermöglicht. Man kann dieses Brennpunktbild aber auch dadurch sichtbar machen, dass man es direkt oder nach Zwischenschaltung eines weiteren positiven Linsensystems auf einer geeigneten Fläche auffängt und zwar in letzterem Falle nach meist erheblicher Vergrösserung.

Ist die auffangende Fläche zum Beispiel ein gewöhnliches in geeigneter Weise aufgespanntes Papier oder eine sonstige Zeichenfläche, so erhält man die fast ausschliesslich für die Beobachtung der Sonnenoberfläche in Anwendung gebrachten Projektionsapparate. Wird diese Fläche aber von einer lichtempfindlichen Schicht (der photographischen Platte) gebildet, so hat man die sogenannten photographischen Fernrohre, welche nun je nach ihrer speciellen Bestimmung wieder sehr verschiedener Konstruktion sein können.

1. Die Projektionsapparate.

Wie schon erwähnt, werden diese Einrichtungen zur Betrachtung der Sonnenoberfläche, zur zeichnerischen Nachbildung derselben, oder auch direkt zur Messung der Positionen der Flecke und Fackeln auf derselben benutzt. Da heute fast überall an die Stelle der einfachen Projektion die photographische Aufnahme getreten ist, kann auch hier kurz über diese Instrumente hinweg gegangen werden, wie sie von Carrington, Secchi, Spörer und Anderen angewendet wurden. Entweder war die auffangende Fläche dem Okular des Fernrohrs gegenüber unabhängig von ersterem aufgestellt, wie z. B. Carrington und Spörer es zu thun pflegten, oder es war — in mancher Beziehung besser — diese Fläche auf einem mit dem parallaktisch montirten und der scheinbaren Bewegung der Sonne folgenden Fernrohre verbundenen Ansatzstücke senkrecht zur optischen Axe befestigt. Das Bild wird in beiden Fällen durch das etwas weiter herausgezogene Okular vergrössert auf der Fläche entworfen. Durch Änderung der Entfernung dieser von der Brennebene des Objektivs und geeignete Verstellung des Okulars kann die Vergrösserung in weiten Grenzen variirt werden.

Eine Anordnung der ersteren Art zeigt die Fig. 612, welche den von Carrington benutzten Apparat schematisch darstellt.[1])

Das Fernrohr hatte 4",5 Öffnung und 52" Fokallänge und die gewöhnlich angewandte Vergrösserung war 25.

Das Bild wurde, wie es die Figur erkennen lässt, auf einem Schirm aufgefangen, der auf einem besonderen Gestell angebracht war, welches ihm in allen Lagen des Instruments die gleiche Entfernung und normale Lage zu den optischen Theilen sicherte. Der Schirm bestand aus einer matten Glasscheibe mit einem gelblichen Ölfarbenüberzug. Glas ist gewählt, weil ein solcher Schirm durch die Wärme keine merklichen Veränderungen erleidet. Während das Sonnenbild auf der Scheibe gehalten wurde, nachdem das Fernrohr in Deklination geklemmt war, wurde die Zeichnung der Details auf der

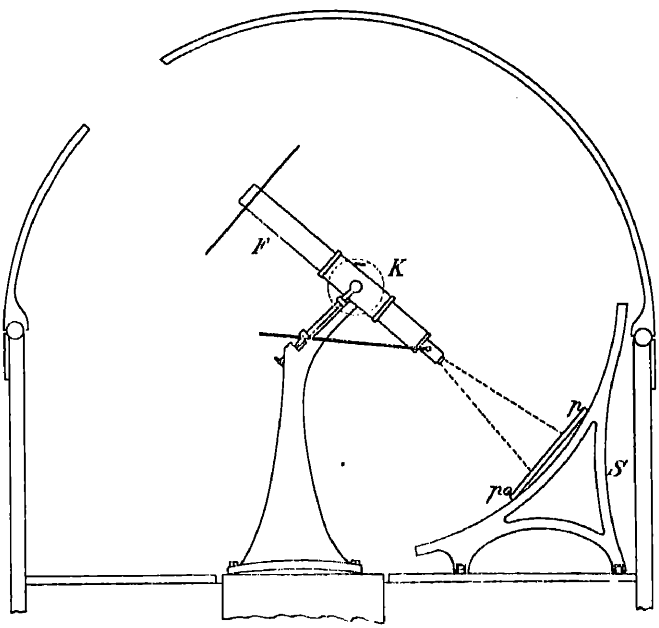


Fig. 612.

Scheibe vorgenommen. Die Orientirung wurde durch die Projektion zweier Goldfäden bewirkt, die sich in der Brennebene des Objektivs befanden, und durch die Bewegung des Sonnenbildes relativ zu diesen Fäden. Dem Sonnenbild wurde gewöhnlich ein Durchmesser von etwa 12 Zoll gegeben.

In ganz ähnlicher Weise hat auch Spörer fast alle seine Beobachtungen angestellt.[2]) Es ist aber nicht zu verkennen, dass die Trennung von Projektionsfläche und Fernrohr verschiedene Unbequemlichkeiten hat, deshalb dürfte wohl die Anordnung von Secchi[3]) und nach ihm von vielen Anderen vorzuziehen

---

1) R. Chr. Carrington, F. R. S., Observ. of the spots of the sun 1853—1861, London 1863.

2) Spörer, Dr. G., Beob. von Sonnenflecken zu Anclam (Publ. der Astron. Ges. XIII).

3) Vergl. dazu Chr. Scheiner, „Rosa ursina", S. 349, wo ein ganz ähnliches Verfahren beschrieben und der benutzte Apparat abgebildet ist.

sein, wenn man dabei auch den Durchmesser der Projektion etwas kleiner wird wählen müssen. Fig. 613 stellt das Instrument der Sternwarte des Collegio Romano dar. An dem Fernrohr AB ist die Stange LK befestigt, welche senkrecht zur optischen Axe die Platte OQ in einer angemessenen Entfernung vom Okular trägt. Im Übrigen ist das Fernrohr parallaktisch montirt nach Art der älteren Äquatoreale. Die lange Deklinationsaxe ruht in den beiden Lagerarmen C und D und diese sind mit einem Querstück auf der Polaraxe EF befestigt, beide Arme tragen entsprechend Kreise M und N zur Einstellung der Koordinaten. Die Polaraxe läuft in Lagern des

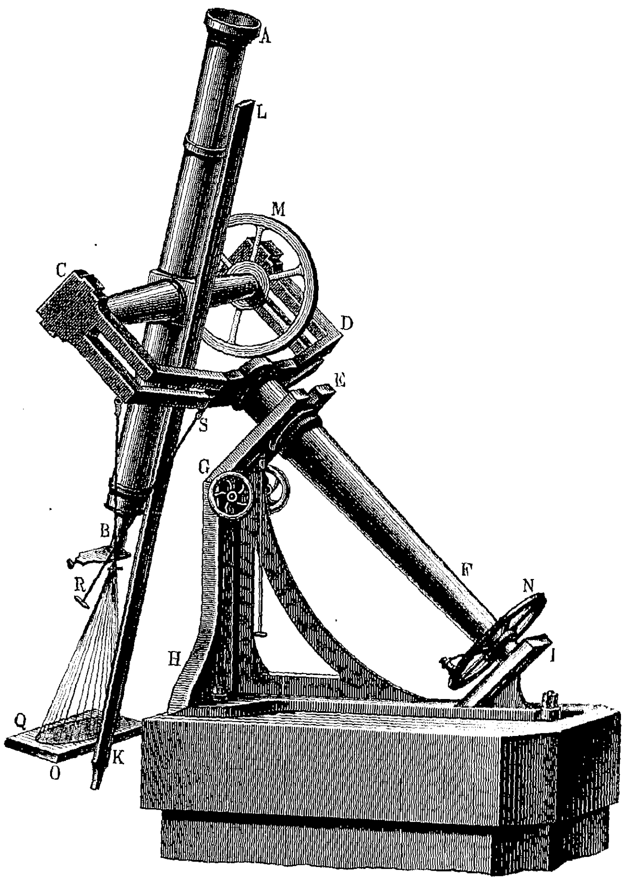


Fig. 613.
(Nach Mem. Oss. Coll. Romano.)

fest aufgestellten Bockstativs GHI und lässt sich mittelst des Schlüssels RS vom Okular aus leicht nachdrehen. Dasselbe kann aber auch nach Klemmung durch ein besonders gut gebautes Uhrwerk geschehen, welches neben dem eigentlichen Instrumente aufgestellt ist und in einem am unteren Ende der Polaraxe noch besonders aufgesetzten Uhrkreis (in der Figur nicht gezeichnet) eingreift. Auf diese Weise ist das Beobachten des nun relativ zum Schirme stabilen Sonnenbildes sehr erleichtert und die Genauigkeit erhöht, mit der die Details gezeichnet werden können. Einem Übelstand, der bei allen

Sonnenbeobachtungen störend auftritt, nämlich die starke Erwärmung der Luft im Inneren des Rohres, wodurch die Bildqualität erheblich verschlechtert wird, hat KONKOLY dadurch abgeholfen, dass er nach Art der alten Luftfernrohre das Objektiv mit dem Okulare und dem Projektionsschirme nur durch ein Gestänge verbunden hat, welches der Luft freie Cirkulation gestattet. Diese Einrichtung ist in Fig. 614 abgebildet. Sie dürfte bei allen Fernrohren, welche der Durchstrahlung von der Sonne nicht nur ganz kurze Zeit ausgesetzt sind, sehr empfehlenswerth sein (vergl. Kapitel Heliometer, S. 617).

Zwischen diesen Projektionsapparaten und den Instrumenten zur photographischen Aufzeichnung der Sonnenoberfläche ist natürlich nur ein geringer Unterschied; denn sobald man an die Stelle des Projektionsschirmes die lichtempfindliche Platte setzt und dafür sorgt, dass fremdes Licht völlig ausgeschlossen wird,[1]) die Platte also mit dem Fernrohr durch eine sogenannte Kamera verbindet, so hat man im Princip die heutigen Heliographen.

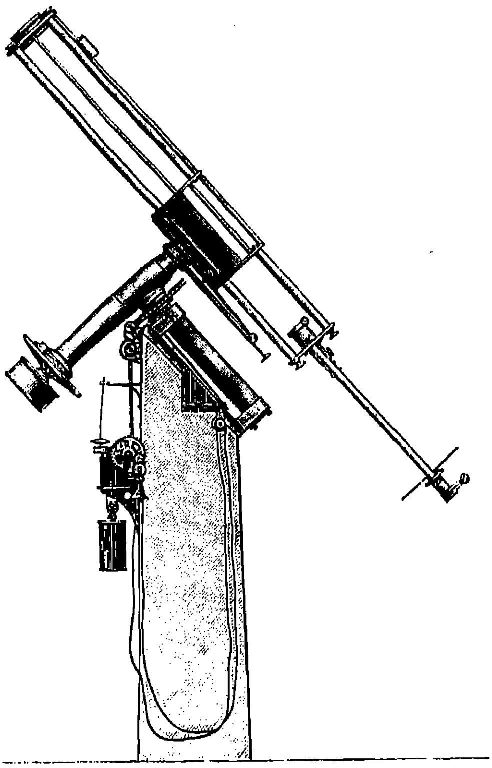


Fig. 614.
(Nach Beobacht. auf d. Sternw. O'Gyalla, Th. I.)

Diese Apparate unterscheiden sich nach zwei Richtungen hin: Entweder wird das vom Objektiv entworfene Sonnenbild direkt photographirt oder man schaltet, um ein grösseres Bild zu erhalten, ein Linsensystem zwischen Objektiv und Platte ein, welches vergrössernd wirkt. Im ersten Fall, welcher natürlich der einfachere ist, muss man Objektive von verhältnissmässig grosser Brennweite anwenden, um ein Bild von einiger Ausdehnung zu erhalten. Auch bezüglich anderer Punkte unterscheiden sich die Heliographen. Einmal hat man das Fernrohr in die Polaraxe gelegt mit dem Objektiv nach unten und unter demselben einen Spiegel angebracht, welcher um eine der Deklinationsaxe eines parallaktisch montirten Instrumentes entsprechende Axe drehbar ist. Auf diese Weise kann man für alle Deklinationen die Sonnenstrahlen in das Fernrohr leiten, wenn das Fernrohr mit dem Spiegel zugleich durch ein Uhrwerk um die optische Axe, welche ja zugleich Polaraxe ist, gedreht wird, oder man hat den Spiegel frei als Heliostat aufgestellt und

[1]) Auch Secchi hatte schon das Objektiv seines Fernrohrs mit der Kuppelöffnung durch eine Art Sack verbunden und die Kuppel selbst mit schwarzem Sammt ausgeschlagen.

das Fernrohr fest gelegt. Andererseits hat man das Fernrohr horizontal gelegt und dann durch einen Heliostaten mit besonderem Uhrwerk die Sonnenstrahlen konstant in dieser Richtung erhalten (so haben es z. B. die Amerikaner und Franzosen bei Gelegenheit der Beobachtungen der Venusvorübergänge gemacht (siehe S. 640). Weiterhin hat HANSEN für die Aufstellung solcher Heliographen eine ganz besondere Montirung angegeben, welche die Vorzüge der parallaktischen Aufstellung mit der der azimuthalen vereinigt. Die neueren Fernrohre zur Himmelsphotographie im Allgemeinen sind dagegen rein parallaktisch aufgestellt, um möglichst lange Expositionszeit mit Leichtigkeit erlangen zu können, was natürlich für die nur der Sonnenphotographie dienenden Instrumente nicht nöthig ist.

2. Die Heliographen der deutschen Venusexpeditionen und die Montirung von Hansen.[1])

Diese Instrumente bestanden aus Fernrohren von etwa 6 Fuss Brennweite und 6″ Öffnung. Das Objektiv war ein dreitheiliges und würde im Brennpunkte ein nahe 20 mm grosses Sonnenbild entworfen haben. Da dieser Durchmesser für die anzustellenden Messungen aber zu klein war, wurde ein Vergrösserungssystem eingefügt, welches dem Sonnenbilde auf der photographischen Platte einen Durchmesser von etwa 100—120 mm gab, das Brennpunktsbild also 5—6 mal vergrösserte.

Diese Systeme waren im Allgemeinen als Okulare konstruirt.[2]) Die specielle Einrichtung eines solchen zeigt die Fig. 615, die ein ganz ähnliches

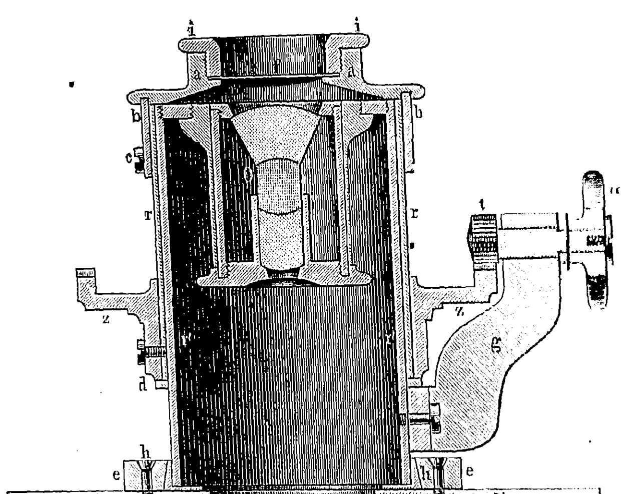


Fig. 615.
(Aus Konkoly, Anleitung.)

[1]) Die Letztere wurde im Jahre 1872—1873 von Repsold nach den Angaben von Hansen für die deutsche Venusexpedition nach den Kerguelen-Inseln ausgeführt und wird gegenwärtig in Leipzig aufbewahrt.

[2]) Zwei der Vergrösserungssysteme der deutschen Heliographen waren von Steinheil, die beiden anderen von H. Schröder konstruirt, zu diesen gehörte auch das des Kerguelen Instruments.

für v. Konkoly von Steinheil konstruirtes Vergrösserungssystem darstellt, wie es dieser in seinem kleinen Heliographen (Fig. 616 im Druchschnitt) verwendet hat. Es ist für solche Einrichtungen der Heliographen von besonderer Bedeutung, dass das zwischengeschaltete Vergrösserungssystem in Bezug auf das Objektiv gut centrirt ist, um das Sonnenbild in allen seinen Theilen konform darzustellen, deshalb sind diese Systeme in besonderen Rahmen gefasst, welche den Astronomen gestatten die Centrirung zu korrigiren. Um eine genaue Orientirung und eine spätere Ausmessung der Orte der Venus auf der Sonnenscheibe oder allgemein der Orte der Flecke zu ermöglichen, wird mit dem Sonnenbild zugleich immer ein auf einer Glasplatte eingerissenes Liniennetz photographirt, für welches die Abstände der senkrecht zu einander gezogenen Linien genau ausgemessen sind. Es ist dann nur nöthig, das einzumessende Objekt gegen die Seiten des Quadrates, in welchem es liegt, festzulegen, um so seine Lage gegen den Mittelpunkt resp. gegen die Ränder der Sonne zu bestimmen. Diese Liniennetze geben zugleich einen Anhalt für die etwa nach der chemischen Behandlung der Platte noch vorgekommenen Verziehungen der photographischen Schicht, indem man die Koordinaten der Kreuzungspunkte der Linien auf der fertigen Platte mit denjenigen des Originalgitters in Vergleich setzt. Es werden zu diesen Messungen besonders eingerichtete Apparate benutzt, die namentlich in neuer Zeit aus Veranlassung der für photographische Himmelskarten bestimmten Aufnahmen erheblich verbessert worden sind. Wir werden später einige derselben speciell beschreiben. Zunächst mag aber der Bau einiger der heliographischen Fernrohre noch weiter erläutert werden, wobei noch bemerkt werden muss, dass alle diese Apparate ausser ihren optischen Theilen noch eine besondere Einrichtung haben müssen, um die kurze Expositionszeit, welche für Sonnenaufnahmen erforderlich ist und welche je nach Höhe der Sonne und Himmelszustand zwischen $^1/_{500}$ — $^1/_{100}$ Sekunde schwankt, hervorzubringen.

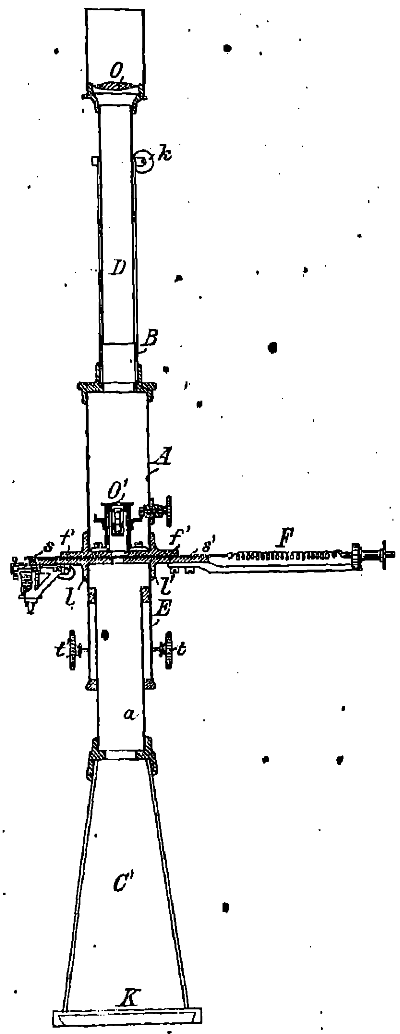


Fig. 616.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

Dieser Bestandtheil aller Heliographen ist der Momentverschluss; einen solchen stellt Fig. 617 dar, wie er von Dallmayer für die englischen Heliographen und den des Collegio Romano gebaut wurde. Es ist O das Rohr, in welchem das Vergrösserungssystem befestigt ist, P die mit einem engen Spalte und in einiger Entfernung darüber mit einem kreisförmigen Diaphragma

versehene Platte, welche sich in vertikaler Richtung sehr leicht aber sicher in dem Rahmen F bewegen lässt. Ferner ist V eine starke Spiralfeder, welche die Platte P senkrecht zur Spaltrichtung rasch durch den Lichtkegel hindurch schnellt, wenn der Faden C, mit welchem die Platte P vor der Belichtung ganz emporgezogen war, durchschnitten wird. Die Platte D gestattet ein Fadenkreuz in den Lichtkegel einzuschieben.

In dem in Fig. 616 dargestellten Heliographen der Sternwarte in O'Gyalla sind A und E zwei Messingrohre, welche durch die beiden Flanschen f, f' und l, l' mit einander verbunden sind. Zwischen diesen beiden bewegt sich der Momentverschluss s s', welcher hier nur, wie bei der Dallmayer'schen Einrichtung, aus einer Messingplatte mit schmalem Spalt, im Allgemeinen aber aus zwei Platten besteht, die zwischen sich einen kleinen Spalt lassen, dessen Breite durch Verschiebung der einen Platte gegen die andere messbar verändert werden kann, wie es z. B. der Momentverschluss des Potsdamer Heliographen, Fig. 623, deutlich erkennen lässt.

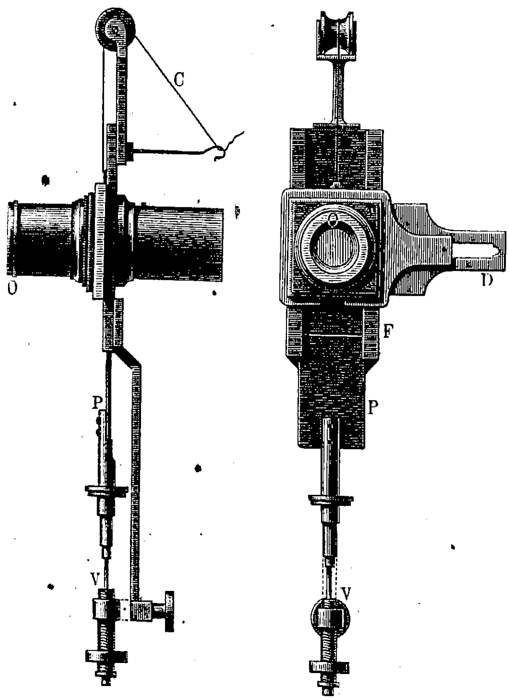


Fig. 617.
(Aus Konkoly, Anleitung.)

Diese Platte muss besonders gut geführt sein, damit sie durch die Feder F sehr leicht bewegt werden kann. In das Rohr E ist ein zweites a durch das Trieb t bewegliches eingeschoben, welches am unteren Ende die hölzerne Kamera C trägt, in welche bei K die Kassette mit Platte eingeschoben werden kann. Auf das Rohr A ist nach oben zu ein zweites B aufgeschraubt, und in diesem ist das eigentliche Objektivrohr D mit dem Objektiv O sicher verschiebbar und mit der Ringklemme k feststellbar eingesetzt. Auf der Flansch f f' ist auch der hier aus einem monocentrischen dreitheiligen System bestehende Vergösserungsapparat O' aufgeschraubt und zwar in der Weise, dass zunächst auf f f' die Fassung r' des optischen Systems O, Fig. 615, ruht und durch die Schiene e mittelst der Schraube h befestigt ist. Um dieses Rohr dreht sich mittelst des Zahnkranzes z und des Triebes t das Rohr r; dieses trägt am oberen Ende eingeschraubt die Glasplatte f mit dem Liniennetz, sodass dieses leicht nach dem Stundenkreis oder der täglichen Bewegung orientirt werden kann. In der Ebene dieser Glasplatte entsteht das vom Objektiv erzeugte Sonnenbildchen; es wird mit dem Netz

dieser Platte zugleich vergrössert und auf der Platte K, Fig. 616, mit dem zweiten Bilde zugleich aufgenommen.

Da das Vergrösserungssystem in dem beschriebenen Heliographen ein für allemal fest angebracht ist, muss sich zur genauen Einstellung von Strichplatte, Objektiv und photographischer Platte, sowohl die erstere gegen jenes als auch die letztere gegen diese verschieben lassen, so dass auf der photographischen Platte Sonnenbild und Fadennetzbild genau zusammenfallen.

Den grösseren Dimensionen der Heliographen der deutschen Venusexpedition entsprechend hatte Repsold die Justireinrichtung des Vergrösserungssystems etwas anders angeordnet. Dieselbe ist in Fig. 618[1]) dargestellt. Die Platte A ist an eine Flansche im Innern des Rohres, wie im vorigen Falle, angeschraubt. Auf dieser sind zwei Schienen s s angebracht, welche in einer schwalbenschwanzförmigen Führung die Platte a a aufnehmen, und auf letzterer befinden sich abermals zwei solcher Schienen s′ s′, welche wieder auf die vorerwähnte Weise die Platte b b senkrecht zur ersten zu verschieben gestatten; auf dieser letzteren ist dann das Rohr r′ r′ befestigt, welches das Vergrösserungssystem O′ aufnimmt.

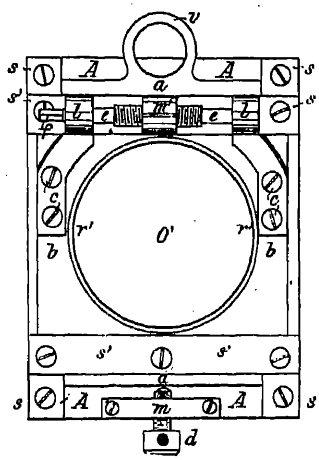


Fig. 618.

Die Platte A trägt unten die Mutter m der Anschlagschraube d. Oben endet die Platte a a in den Ring v, mittelst dessen man sie sammt der ganzen Einrichtung durch eine passende Öffnung aus dem Rohre herausziehen kann. Die Schraube d gestattet also innerhalb bestimmter Grenzen die Stellung des Vergrösserungssystems in einer Richtung zu reguliren. Die Platte b b ist zu a a senkrecht verschiebbar, und diese Verschiebung wird mit der Schraube e e ausgeführt, welche bei f in einem Vierkant endet. Die Mutter m′ der Schraube ist an der Schiene s′ s′ befestigt; sie ist des leichteren Ganges der Schraube wegen federnd aufgeschnitten. Die Lager l l der Schraube sind mit den Schrauben c an der Platte b b so befestigt, dass beim Drehen der Schraube sich diese mit den Lagern und der Platte b b weiterbewegt. Die Netzplatte lässt sich bei dieser Anordnung durch eine von Aussen durch Schlüssel zu bewegende Tangentialschraube nach dem Vertikalkreis oder nach dem Stundenkreise justiren, wie es die Verwendung des Heliographen erfordert.

Da die Justirung nach dem Vertikal aus verschiedenen theoretischen Gründen für die Aufnahme von Phänomenen auf der Sonne die zweckmässigste ist, dabei es aber auch als sehr erwünscht angesehen werden muss, wenn das Fernrohr der Bewegung der Sonne folgt, wurde HANSEN zu der Konstruktion eines eigenthümlichen Stativs veranlasst, welches wir oben bei der Be-

[1]) Die Abbildung (Fig. 618), sowie die Beschreibung ist nach Konkoly gegeben.

sprechung der verschiedenen Axensysteme schon erwähnt haben, das aber hier etwas näher beschrieben werden mag.

Die rein parallaktisch aufgestellten Heliographen geben den Positionswinkel der auf der Sonne beobachteten Objekte nicht mit genügender Genauigkeit. HANSEN richtete deshalb die Aufstellung seines Fernrohrs derartig ein, dass dasselbe stets sowohl um eine vertikale als um eine horizontale Axe unmittelbar beweglich ist, dass aber dieses ganze azimuthale System

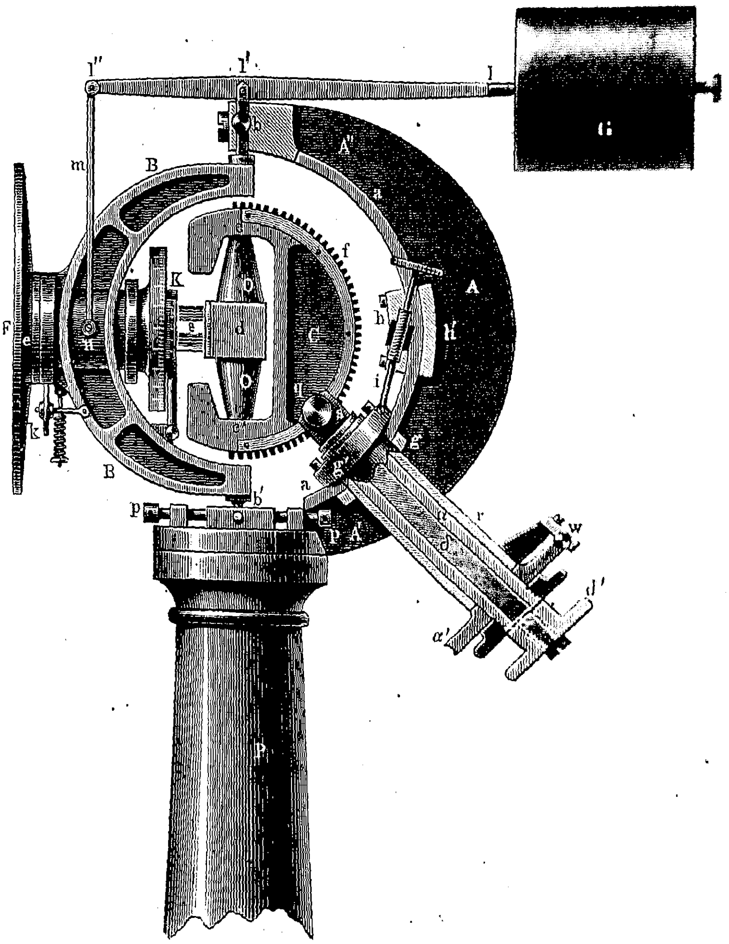


Fig. 619.
(Aus Konkoly, Anleitung.)

gleichzeitig um eine nach dem Pol gerichtete Axe gedreht werden kann, wodurch die Fernrohraxe also stets nach demselben Parallelkreis gerichtet bleibt.

Die Fig. 619 zeigt dieses Axensystem im Detail. Der Pfeiler P trägt den Arm A A' A'', welcher aus zwei parallelen, jedoch bei A' und A'' verbundenen starken Bögen besteht. Zwischen demselben ist die Büchse r für die Polaraxe beweglich und für verschiedene Polhöhen mittelst der Klemmstücke g und g' zu befestigen. Das Klemmstück h h' dient der Feinbewegungs-

schraube i zur Lagerung. Die bei b und b′ mit ihren Zapfen gelagerte Vertikalaxe hat die Form eines Kreisbogens B, welcher in seinem mittleren Theile die Horizontalaxe e e aufnimmt. An dem einen Ende derselben ist das Fernrohr bei F befestigt, das andere, nach der Verbindungslinie der Zapfen zu gelegene, trägt zunächst einen Vertikalkreis bei K, welcher durch einen Vernier abgelesen werden kann, weiterhin aber den Würfel d, dessen Mittelpunkt in der Verbindungslinie von b b′ liegt. An zwei Seiten dieses Würfels setzen sich die beiden Konen o o an; diese endigen in je einen Zapfen c c′, um welche das Bogenstück C wiederum beweglich ist. Die in

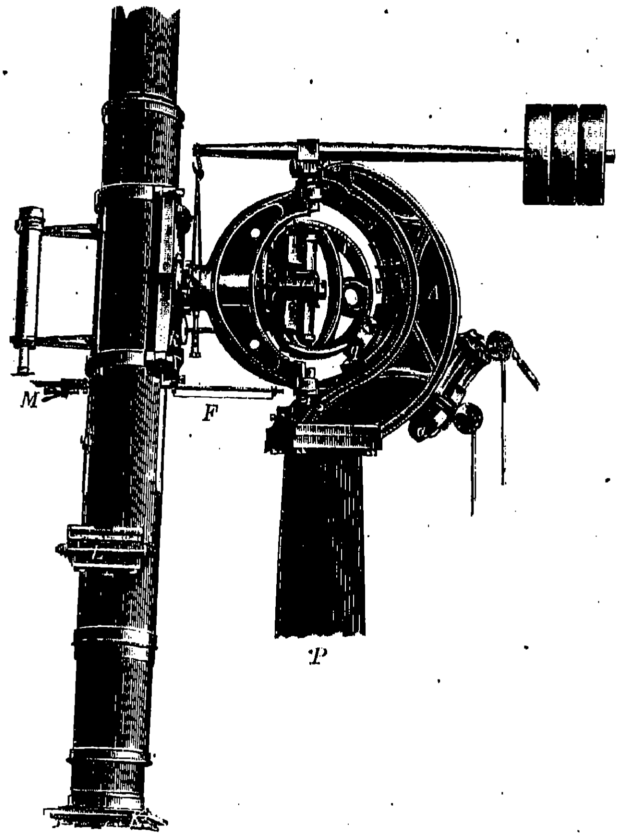


Fig. 620.

der Hülse r bewegliche Polaraxe a trägt nahe ihrem unteren Ende den Uhrkreis a', in welchem die von einem Uhrwerk oder auf andere Weise bewegte Schneckenschraube w eingreift. Das obere Ende der Polaraxe endigt in eine kurze Gabel s, welche den Bogen C umfasst und mit diesem durch die Klemmschraube q fest verbunden werden kann, nachdem das Fernrohr die gewünschte Richtung erhalten hat. Die Polaraxe ist hohl; in ihr dreht sich eine zweite Stahlaxe δ, die bei δ' einen Schraubenkopf von grösserem Durchmesser trägt; in der Gabel s endigt dieselbe in einem konischen Zahnrade, welches in den ebenfalls konisch geformten Zahnkranz f eingreift, der auf der Peripherie des Bogens C befestigt ist. Denkt man

sich jetzt den Bogen B so gedreht, dass die Horizontalaxe e e senkrecht zum Meridian steht, so wird man das Fernrohr durch Drehen der Axe δ und damit des Bogens C für jede beliebige Höhe einstellen können. Da sich aber nun alle Axen in einem Punkte, nämlich im Centrum des Würfels d schneiden, so wird nach Einstellung in Höhe das Fernrohr in jeden beliebigen Stundenwinkel gebracht werden können. Durch Drehung der Stundenaxe a wird dann die Absehenslinie des Fernrohrs der täglichen Bewegung eines Gestirnes folgen müssen, ohne dass ein in ihm befindliches Fadenkreuz seine durch die Axe e e, welche stets horizontal bleibt, bestimmte Orientirung verändert. Zur Justirung der Vertikalaxe ist das untere Lager derselben auf einer horizontalen Ebene durch die Schrauben p justirbar gelegen. Die Lage der Horizontalaxe wird durch zwei Libellen kontrolirt, welche je auf einer ihr parallelen Stahlaxe am Fernrohr hängen. Das erhebliche Gewicht des Bogens B und des Fernrohrs wird durch das Gegengewicht G durch das Hebelwerk l l′ l″ und die Stange m im Punkte n äquilibrirt. Für die Horizontalaxe mit dem sie einseitig belastenden Fernrohre geschieht dies durch die Rolle k vermittelst einer sie von unten andrückenden starken Spiralfeder. Die Anordnung des heliographischen Fernrohres an diesem Stativ, sowie den Gesammtanblick des Instrumentes stellt Fig. 620 dar, auf welcher auch der Momentverschluss M F und die Orientirungslibelle L sichtbar sind.

Soweit mir bekannt, ist diese Konstruktion weiterhin nicht wieder ausgeführt worden, da ihre sehr umständliche Einrichtung nur bei tadelloser Ausführung einen guten Erfolg erwarten lässt.

Der Heliograph des Potsdamer Observatoriums[1]) und ein solcher nach Grubb.

Das Potsdamer Instrument besteht aus drei Haupttheilen, nämlich aus dem in der Richtung der Polaraxe liegenden Fernrohr, der dessen direkte Fortsetzung bildenden photographischen Kamera und dem am unteren Ende gesondert aufgestellten Heliostaten. Das Fernrohr R, Fig. 621, welches eine Länge von 3,76 m hat, ruht auf einem starken, isolirten, 4,83 m über dem Fussboden F emporragenden Backsteinpfeiler, mit dem Objektiv nach unten und wird direkt von zwei eisernen Lagerböcken B und B′ getragen, von denen der untere, B, am Objektivende befindliche, die Justirungsschraube für das Rohr trägt. Das dreitheilige Objektiv hat 160 mm Öffnung und 4,02 m Brennweite und ist so konstruirt, dass es die optisch und photographisch wirksamen Strahlen nahezu in derselben Ebene vereinigt, wodurch schon auf der Mattscheibe bei g die richtige Einstellung für die Photographie erreicht werden kann. Die sich an das Okularende ansetzende Kamera besteht aus einem gusseisernen Stück g, welches längs der ebenen Schienen des Trägerbockes B′ verschoben werden kann. Die Verbindung zwischen der am Okularende befestigten Platte v und dem Rahmentheil g wird durch einen Balgauszug hergestellt, dem eine Länge von $1^1/_4$ m gegeben

[1]) Publ. des Astrophysikal. Observ. zu Potsdam, Bd. IV, Th. 2, S. 474 ff. Beschreibung von Lohse und Theorie von Wilsing.

werden kann. Seine Ausdehnung in der Figur entspricht einer Bildgrösse von nahe 100 mm. Um mit dem Fernrohr auch ohne Wegnahme der Kamera visuelle Beobachtungen anstellen zu können, ist das Rohr 36 cm vom oberen Ende nach den Seiten hin durchbrochen, und der Lichtkegel kann durch einzuschiebende totalreflektirende Prismen nach einem besonderen Okular gelenkt werden. Die an einer Theilung ablesbare Verschiebung des Rahmens g erfolgt durch das Trieb k; ersterer wird wegen seiner Schwere durch das Gegengewicht p in einfacher Weise äquilibrirt. Das Okularende des Fernrohrs besteht aus dem durch das Trieb z verstellbaren Stutzen o, welcher bei i den Momentverschluss und das Vergrösserungssystem mit einfacher Fadenplatte enthält. Das letztere ist durch das Trieb bei z′ noch besonders längs der optischen Axe verstellbar.[1]) In der Verlängerung der Linie Okular-Objektiv ist sodann

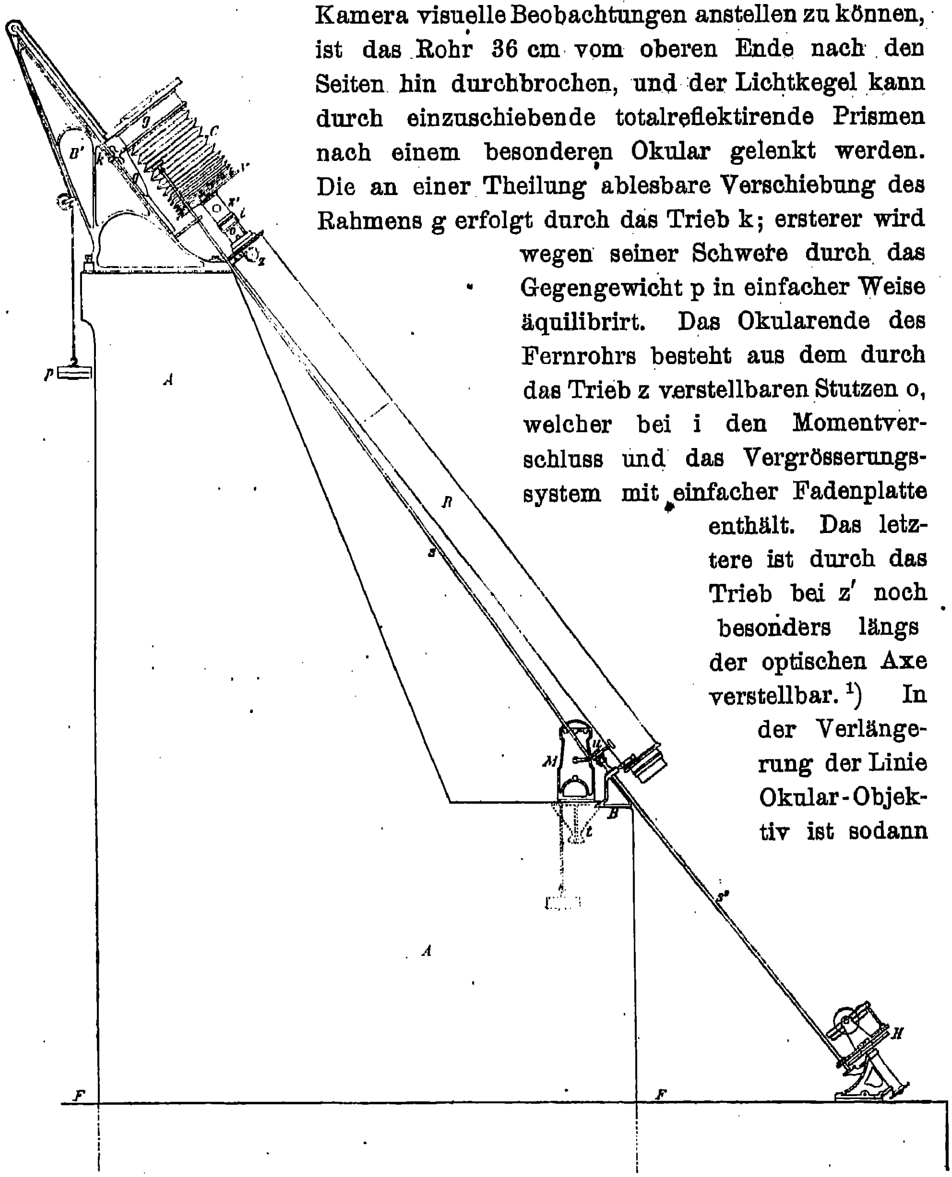


Fig. 621.
(Aus den Publ. d. astrophysikal. Observ. zu Potsdam.)

der Heliostat H aufgestellt, dessen Spiegel das Bild der Sonne in der Richtung der optischen Axe reflektirt.[2]) Durch die Führungsstangen S

[1]) Weitere Korrektionseinrichtungen, wie bei den Heliographen der Venusexpedition, hat Repsold hier nicht mehr angebracht, sondern gleich die Centrirung sicher ausgeführt.

[2]) Es würde für die Anordnung des gesammten Instrumentes gleichgültig sein, ob das Objektivende oben oder unten gelegen und demgemäss der Heliostat aufgestellt ist, aber wegen des Zusammentreffens der günstigen Einfallswinkel mit dem höheren Stande der Sonne empfiehlt sich für unsere Breiten diese Anordnung.

und S′ können vom Okular aus die nöthigen Feinbewegungen zur Einstellung des Spiegels vorgenommen werden und zwar durch die Räderübertragungen bei r, r_1 und r_2 in Fig. 622, welche den Heliostaten in grösserem Maassstabe für sich darstellt. Durch eine weitere ähnliche Übertragung wird von dem Uhrwerk M, Fig. 621, aus der Uhrkreis w des Heliostaten und die mit diesem nach Klemmung verbundene Polaraxe in Bewegung

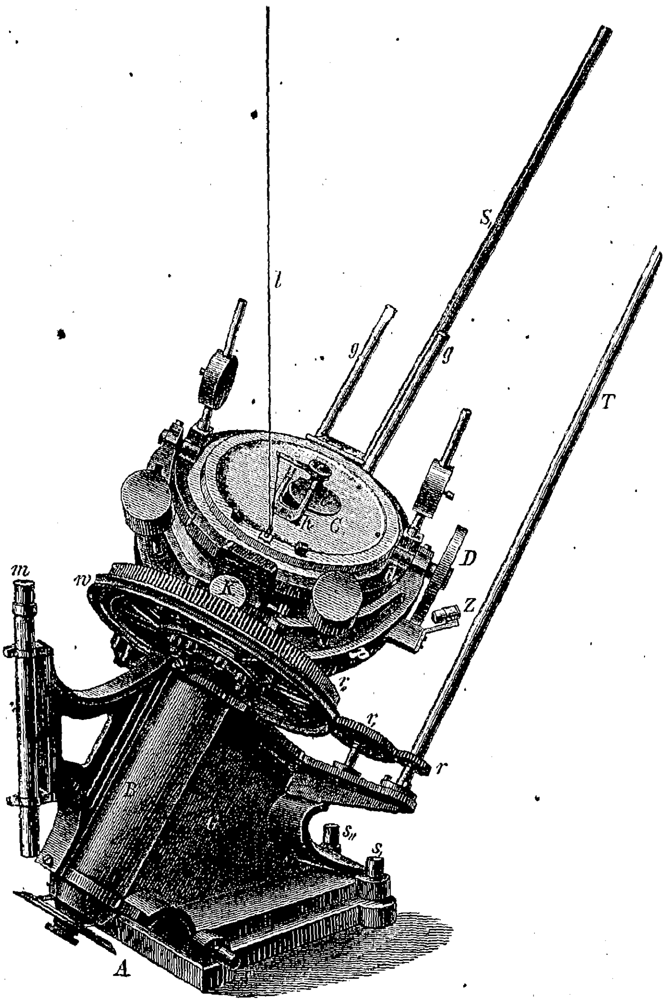


Fig. 622.
(Aus den Publ. d. astrophysikal. Observ. zu Potsdam.)

gesetzt. Der Heliostat ist von einfacher (Fraunhofer'scher) Konstruktion,[1]) da sich sein Spiegel, welcher in der Dose d d ruht — einmal für die betreffende Sonnendeklination mittelst des Kreises D und der Lupe Z eingestellt — nur noch um die Polaraxe zu drehen braucht. Diese bewegt sich in der Büchse B, welche einen Theil des ganzen Gestelles G bildet und dieses wiederum ist durch

[1]) Vergl. weiter unten das über Heliostaten im allgemeinen Gesagte.

die Schrauben s, s_1 und s_2 in Azimuth und Höhe justirbar. Der Stundenkreis A kann durch das Mikroskop m abgelesen und damit der Stundenwinkel eingestellt werden; die Verbindung zwischen Polaraxe und Uhrkreis w wird durch die Klemme bei K hergestellt. Mit der Polaraxe ist fest verbunden der Bügel p, welcher an seinen Enden die der Spiegelebene parallel liegende Deklinationsaxe aufnimmt. In der Dose d d ruht, von einem weissgestrichenen Deckel C bedeckt, der Glassilberspiegel.[1]) Er kann, ohne ihn selbst zu berühren, durch eine besondere Vorrichtung eingelegt werden. Der Deckel C lässt sich mit Hülfe der Schnur l vom Okularende aus öffnen, damit aber für die Einstellung des Bildes der Spiegel nicht für längere Zeit ganz belichtet und dadurch zu stark erwärmt wird, so ist in der Mitte des Deckels ein kleiner Ausschnitt gemacht, welcher durch einen besonderen Verschluss c verdeckt wird. Bevor die Schnur den grossen Deckel hebt, schiebt sie bei schwächerem Anziehen erst den von einer Feder gehaltenen kleinen Deckel c zurück, und es kann für die Einstellung der mittlere Theil des Spiegels allein benutzt werden. Erst ein scharfer Zug an der Schnur öffnet wenige Sekunden vor der Exposition den ganzen Spiegel. Der Deckel legt sich dann an die beiden Ständer g. In die Gabel h kann ein blaues Glas eingeschoben werden, um bei der Einstellung auch den mittleren Theil des Spiegels noch möglichst vor den Wärmestrahlen zu schützen. S ist die Übertragungsstange vom Uhrwerk und gleichzeitig auch durch Zwischenschaltung zweier sogenannter Planetenräder[2]) diejenige für die Feinbewegung im Stundenwinkel, während T die Feinbewegung in Deklination bewirkt.

Wie schon erwähnt, ist für eine Sonnenaufnahme eine äusserst kurze Expositionszeit nöthig, die nur durch einen geeigneten Momentverschluss erreichbar ist. Denjenigen des Potsdamer Heliographen stellt Fig. 623 dar.

Er wird dicht vor der Fadenplatte, welche sich genau im Fokus des Objektivs befindet bei i, Fig. 621, in das Rohr eingeschoben. Derselbe besteht aus einem Rahmenstück R, in dem sich der den Spalt tragende Wagen M auf Rollen derartig bewegt, dass ihm eine sichere Führung ertheilt wird, die nur eine Bewegung senkrecht zum Spalt zulässt. In der Figur ist der Wagen so gestellt, wie es vor der Exposition der Fall sein muss; dann ist nämlich die starke Spiralfeder f soweit zusammengedrückt, dass eine am unteren Theile befindliche Rippe durch einen Sperrhaken festgehalten wird. Durch Drehen an dem Kopfe K erfolgt die Auslösung dieses Hakens, und der Wagen M wird durch die Feder f sehr schnell vor einer in der Grundplatte von R befindlichen runden Öffnung vorbeigeführt, so dass die Sonnenstrahlen nur für den Moment des Vorüberganges des Spaltes vor den einzelnen Theilen der er-

[1]) Für alle Helio- oder Siderostatenspiegel können nur solche Spiegel verwendet werden, bei denen die Reflexion an deren Oberfläche stattfindet, da sich die Forderung der Planparallelität für gewöhnliche Glasspiegel bei so grossen Flächen kaum würde erfüllen lassen, ausserdem aber schon durch die doppelte Reflexion allein leicht Verschlechterung des Bildes eintreten kann.

[2]) Unter diesem Namen versteht man eine Verbindung von Zahn- oder Reibungsrädern bei denen ausser ihrer eigenen Drehung auch noch eine solche des Axenlagers des einen um die Axe des anderen erfolgt.

wähnten Öffnung Zugang zur photographischen Platte haben. Die Feder w fängt dann den Wagen auf und die Gummiringe hh' mildern den Stoss gegen den Rahmen. Die Regulirung der Spaltbreite wird durch die verschiebbare Lamelle s mittelst der Schraube bei t messbar bewirkt. Die Geschwindigkeit, mit der der Wagen M durch den Lichtkegel sich bewegt, beträgt etwas über 1,5 m in der Sekunde; die Belichtungszeit der Platte hängt aber ausserdem noch von der Spaltbreite ab und kann in diesem Falle auch nur durch Veränderung der letzteren moderirt werden. Dabei ist aber zu bemerken, dass man mit deren Breite nicht unter ein bestimmtes Maass heruntergehen darf, da sonst die Beugungserscheinungen, welche durch die Spaltränder hervorgerufen werden, das Sonnenbild merkbar verschlechtern. Diese Diffraktionswirkung wird dann am geringsten sein, wenn der Verschluss sich möglichst nahe der photographischen Platte befindet oder wenn seine Öffnung nahe gleich dem Querschnitt des Lichtkegels an der durchschnittenen Stelle ist. Da erstere Bedingung aus technischen Gründen nicht wohl ausführbar ist, da das Bild auf der Platte meist schon erhebliche Dimensionen aufweist, so setzt man

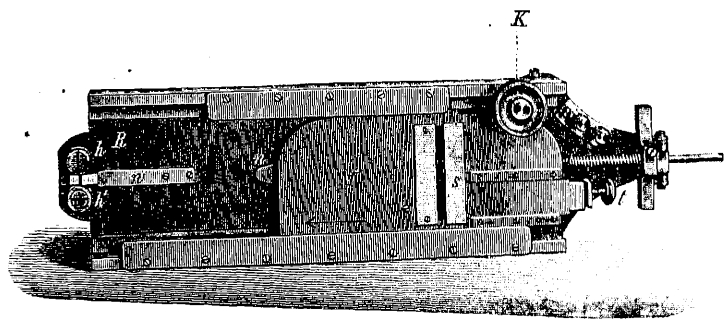


Fig. 623.
(Aus den Publ. d. astrophysikal. Observ. zu Potsdam.)

den Verschluss in die Brennebene. Auch die Anwendung möglichst unempfindlicher Platten, die ausserdem den Vortheil eines feineren Kornes haben, ist von Werth, da auch dann die Öffnung des Spaltes nicht so sehr verringert zu werden braucht.[1]) Die Expositionszeit und damit für ein und denselben Apparat die Spaltweite muss sich natürlich nach der Höhe der Sonne, nach der Durchsichtigkeit der Luft und der Empfindlichkeit der Platte richten, sie beträgt aber meist weniger als $^1/_{100}$ Sekunde. Bei Heliographen, wie dem Potsdamer, bleibt die Bewegungsrichtung des Spaltes dieselbe, und damit unter sonst gleichen Umständen auch die Geschwindigkeit seiner Bewegung; bei Instrumenten, die parallaktisch montirt sind, muss aber auch auf die veränderte Wirkung der Schwere auf den Verschluss Rücksicht genommen werden, da seine Bewegungsrichtung dann unter verschiedenen Winkeln gegen die Vertikale geneigt ist. Dies war auch ein Grund für die azimuthale Aufstellung der Heliographen für die Venusexpeditionen.

Einen wesentlich einfacheren Apparat sowohl zur direkten Beobachtung

[1]) Vergl. darüber besonders Scheiner, Photogr. d. Gestirne, S. 71.

der Sonne als ebenfalls zu photographischen Aufnahmen derselben hat H. GRUBB für die Sternwarte von Queens College in Cork gebaut. Bei ihm liegt das Fernrohr F ebenfalls in der Polaraxe, ist aber mit dem reflektirenden Spiegel S direkt verbunden, wie Fig. 624 sofort erkennen lässt. Dieser dreht sich um eine Deklinationsaxe, welche in einer das Objektiv umfassenden Gabel G gelagert ist und die an ihrem unteren Ende gleichzeitig den einen Zapfen Z der Polaraxe aufnimmt. Am oberen Ende liegt das Fernrohr in einem Lagerbock und kann vermittelst eines aufgesetzten Uhrkreises mittelst des Uhrwerkes M der täglichen Bewegung folgen. Das Okular O ist um ein Charnier zurückzuklappen, so dass an seine Stelle auch ein Projektionsapparat, eine photographische Kamera oder ein anderer Apparat gesetzt werden kann. Das ganze Instrument ist auf dem Stativ Q fahrbar montirt. Hat es den ihm zugewiesenen Ort eingenommen, so können mittelst der Schraube R die Rollen r ausser Thätigkeit gesetzt werden, wodurch das Instrument eine sichere Aufstellung erlangt. Die Einstellung des Spiegels in Deklination kann mittelst Zahnrad und Gestänge T ausgeführt werden.

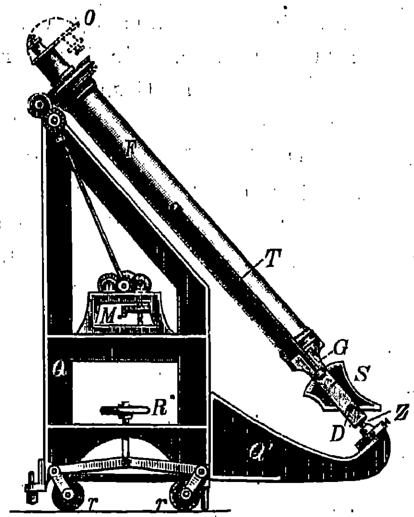


Fig. 624.

Heliographische Einrichtungen mit horizontaler Montirung.

Die horizontale Lagerung des Heliographen-Fernrohrs oder die entsprechende Aufstellung einer gesonderten Objektivlinse ist namentlich dann von Vortheil, wenn man das Fokusbild der Sonne direkt photographiren will, da zu diesem Zwecke Objektive von sehr grosser Brennweite (12 und mehr Meter) verwandt werden müssen. Diese Aufstellung der Heliographen hatten z. B. die Amerikaner bei der Beobachtung des Venusdurchgangs von 1874 und 1882 zur Anwendung gebracht, während auch die Franzosen die ganzen Heliographenrohre mit Objektiven von kürzerer Brennweite ebenfalls horizontal gelagert hatten.

Die Einrichtung der Amerikaner zeigt die Fig. 625.[1]) In O ist das Objektiv von über 12 m Brennweite mit seiner Fassung auf einer Platte L mit dem Heliostaten H zugleich befestigt. Diese Platte ruht auf einem eisernen Pfeiler R von etwas über 1 m Höhe. Durch den Spiegel S des Heliostaten, der von einem besonders aufgestellten Uhrwerk U in der richtigen Lage erhalten wird, werden die Sonnenstrahlen auf das Objektiv

[1]) Eine genaue Instruktion und Beschreibung der Apparate ist enthalten in: Instructions for observ. of the transit of venus, Dec. 6, 1882, prep. by the commission authorized by congress, Washington.

geworfen und von diesem ein Bild auf einer auf besonderem Pfeiler R′ in geeigneter Kassette K aufgestellten photographischen Platte P entworfen, welche durch die Feder f gegen eine mit Gittertheilung versehene Glasplatte gedrückt wird. Die Orientirung zur Vertikalen erfolgt durch das Loth p, dessen Faden dem einen System der Gitterlinien parallel sein soll.

Eine französische Station zur Beobachtung des Venusdurchganges von 1874 zeigt in ihrer Gesammtanordnung die Fig. 626. Dort ist das Heliographen-Fernrohr von etwa 2 m Länge auf einem Pfeiler horizontal gelagert, und das Okularende ragt in eine Hütte hinein, welche als Dunkelkammer dient und in der mit dem Fernrohr verbunden die Kamera b auf demselben Pfeiler aufgestellt ist. Vor dem Objektivende des Fernrohrs befindet sich eine balgähnliche Umhüllung aus dunkelm Zeuge, welche mit dem Belichtungs-

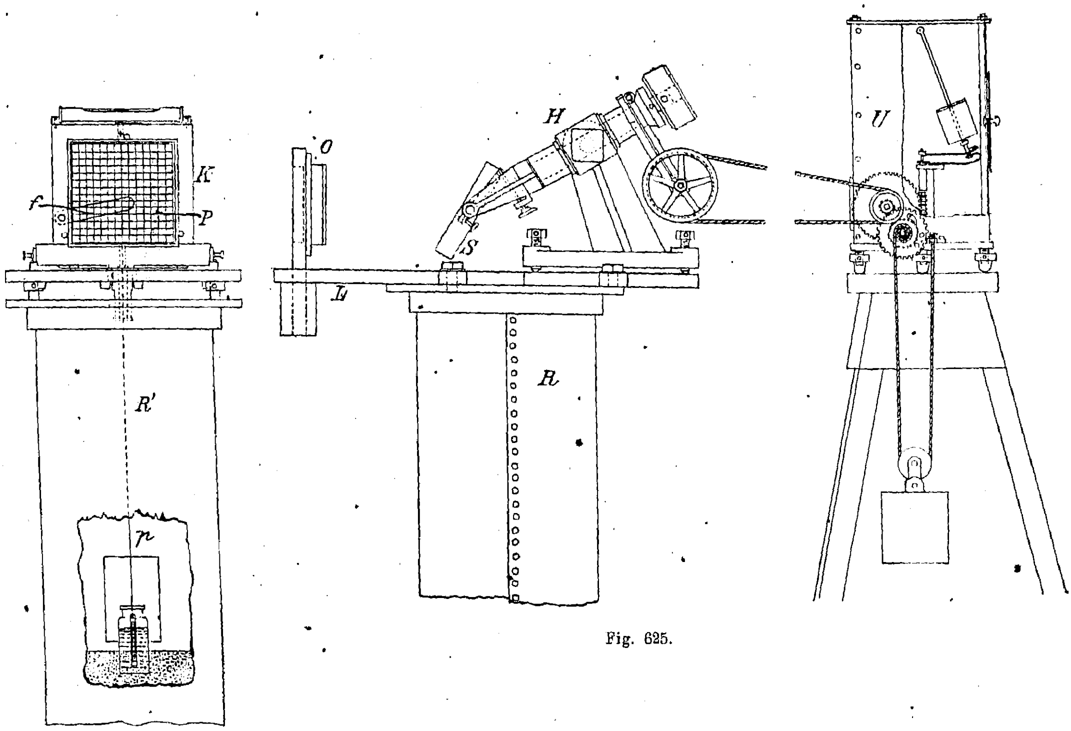


Fig. 625.

schirm E verbunden ist. Die Auslösung desselben geschieht auf elektrischem Wege mittelst einer Drahtverbindung f durch die Uhr P. Das Sonnenlicht wird durch den Heliostaten H in das Fernrohr reflektirt. Das Universalinstrument M und der Kollimator C dienen zur Orientirung des ganzen Apparates sowohl, als zur Ausführung der anderweit nöthigen astronomischen Beobachtungen.

Eine besondere Anordnung des Fernrohrs und namentlich auch des Momentverschlusses lässt Fig. 627 erkennen, welche einen Heliographen nach den Vorschlägen von Martin und Wolf in Paris darstellt. Das entweder dioptrische oder katoptrische Fernrohr ist ebenfalls horizontal gelagert und erhält die Sonnenstrahlen von einem Heliostaten in A zugesandt. Der grosse Spiegel desselben steht dort durch ein Hebelsystem mit einem kleinen Spiegel in Verbindung, welcher zur Kontrole der richtigen Stellung und zur ersten

Einstellung dient. Durch das Objektivsystem B C, welches hier aus einem Spiegel C und einem kleinen Reflexspiegelchen auf der Platte B besteht (also ein Gassegrain'sches Teleskop darstellt), gehen die Strahlen durch den Ver-

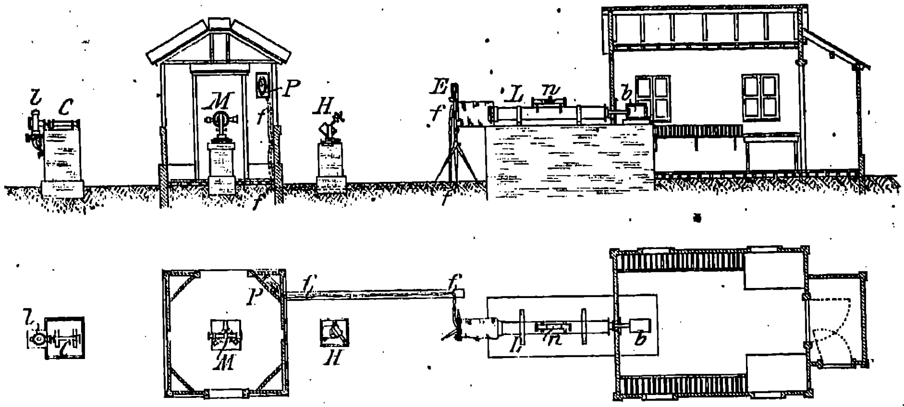


Fig. 626.

(Nach Laussedat, Passage de Venus.)

grösserungsapparat a, und das Bild der Sonne, welches nun einen Durchmesser von etwa 10—15 cm hat, wird auf der Platte bei E aufgefangen. Bei f ist der in der Nebenfigur besonders dargestellte Momentverschluss in den Strahlengang eingeschoben. Derselbe besteht aus dem um g pendelnden Sektor

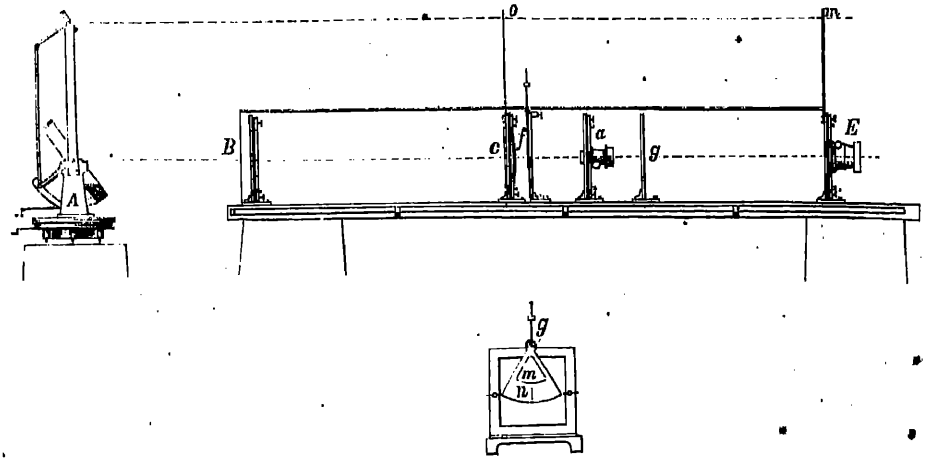


Fig. 627.

m, welcher bei n einen schmalen Ausschnitt hat. Wird dieser durch die Bewegung des Sektors schnell durch den Strahlenkegel hindurchgeführt, indem dieser von einer zur andern Seite schwingt und dort von einer Feder gefangen wird, so wird leicht eine ganz kurze und ausserdem aus der Schwingungsdauer messbare Belichtungszeit erzielt werden.

3. Heliostaten.

Wie aus den vorstehenden Beschreibungen hervorgeht, sind für die Anwendung bestimmter fester Lagen photographischer Fernrohre besondere Apparate, Heliostate, nöthig, welche den Sonnenstrahlen die verlangte Richtung ertheilen. Es dürfte deshalb von Interesse sein, den Bau derselben, da sie in neuerer Zeit namentlich zu Zwecken der Himmelsphotographie und Spektroskopie vielfach verwendet werden, etwas näher zu erläutern. Das allgemeine Princip für den Bau derselben ist das folgende:[1]

Es sei in Fig. 628 M das Centrum des Spiegels, MN die Normale auf dessen Ebene nach rückwärts verlängert, MG die Richtung von der Sonne, also die Richtung der einfallenden Strahlen, FM die Richtung der reflektirten Strahlen. Ferner sei SS′ der Durchschnitt der Einfallsebene mit der Spiegelfläche, während MR eine Senkrechte zu dieser Ebene sowohl als auch zur festen Richtung FM darstellt. Zieht man jetzt von einem Punkt der Spiegelnormalen Linien parallel zur Richtung nach der Sonne und zur festen Reflexionsrichtung, also NS ∥ MG und NS′ ∥ FM, so wird, weil auch ∠SMN ein Rechter ist, NF = FS = GM = GS′ werden müssen, womit das Princip des Heliostaten

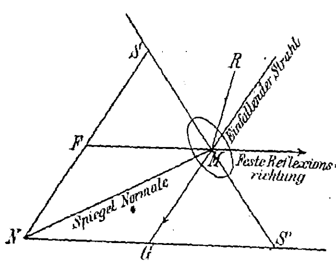


Fig. 628.

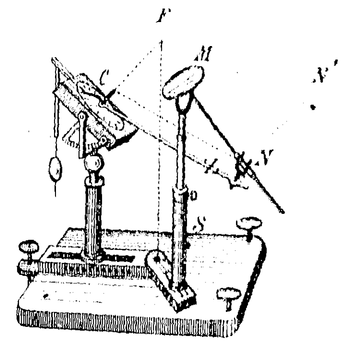


Fig. 629.

im Allgemeinen gegeben ist. Das heisst, es wird der reflektirte Strahl immer in derselben Richtung verlaufen, wenn der Abstand des Drehungspunktes des Spiegels von dem der Polaraxe angehörigen Punkte F immer derselbe bleibt und beide Punkte in der Richtung der festen Strahlen liegen. Ausserdem muss das Dreieck NFM ein gleichschenkliges bleiben, in dem die Richtung MN immer auf einem dem Parallel der Sonne angehörenden mit ihm koncentrischen Kreise gleitet und den Winkel FMG halbirt.

Je nach der Anordnung der einzelnen Theile der Heliostaten sind im Laufe der Zeit eine grosse Anzahl verschiedener Instrumente dieser Art gebaut worden, seit 1720 S. Gravesande den ersten noch recht primitiven hergestellt hatte. Fig. 629 zeigt dessen Heliostaten. Der Spiegel M ruht auf einer vertikalen Säule S, in welcher sich eine Stange verschieben lässt, die oben in eine Gabel ausläuft, zwischen deren Enden der Spiegel um eine horizontale

[1] Radau, Bull. Astr., 1884, S. 153 — Carl, Repertorium, Bd. II, S. 1, 10 und 234; weitere Litteratur findet sich bei Radau l. c. angeführt.

Axe drehbar ist. Auf der Rückseite des Spiegels ist eine zu seiner Fläche senkrechte Stange (die Normale) befestigt, welche bei N in einer Hülse gleitet, die mit einem Doppelgelenk auf dem der täglichen Bewegung gemäss sich drehenden grossen Zeiger Z befestigt ist. Diese Hülse beschreibt also einen Parallelkreis und die Neigung der Linie F N gegen die Polaraxe F C muss gleich 90⁰ sein. Diese allgemeine Form des Heliostaten ist später namentlich von Foucault erheblich verbessert worden, und bei grösseren Instrumenten dieser Art, die nicht nur ganz bestimmten Zwecken dienen sollen, wendet man auch dessen Konstruktion in ihren Grundzügen meistens an. Bei dem Foucault'schen Heliostaten, Fig. 630, kommt häufig zu den bisherigen Zwangsbedingungen der Bewegung noch eine weitere hinzu, die darin

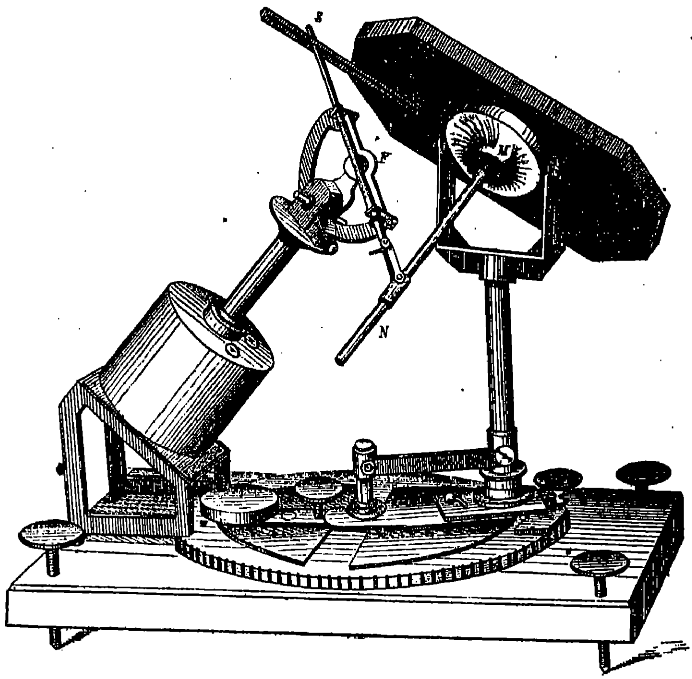


Fig. 630.
(Nach Carl, Repertorium, Bd. II.)

besteht, dass man auch den Spiegel in seiner Ebene noch um seine Normale N M drehbar macht und eine in seiner Ebene gelegene Linie ebenfalls auf einer durch den Punkt F und N gelegten Linie sich führen lässt. Dadurch erreicht man, dass bei dem häufig zur Anwendung kommenden länglichen Spiegel immer dessen günstigste Dimension in die Reflexionsebene zu liegen kommt.

Werden runde Spiegel verwendet, so fällt die letztere Bedingung weg und die Konstruktion schliesst sich wieder näher der älteren Einrichtung an. Fig. 631 zeigt einen Heliostaten nach Foucaults Angaben, wie sie jetzt mehrfach gebaut werden und als Siderostaten Verwendung finden. Die mit der obigen Skizze gleichlautende Bezeichnung der einzelnen Theile wird das Princip sofort erkennen lassen. Die Fig. 632 stellt den neueren Siderostaten

dar, welchen Repsold für das Observatorium zu Potsdam gebaut hat. Auch hier sind die entsprechenden Theile der Skizze entsprechend bezeichnet. Dieses Instrument weicht in sofern von den gewöhnlichen Ausführungen etwas ab, als es an einer vertikalen Fläche befestigt werden soll und demgemäss auch die Einrichtungen getroffen sind, wie die Figur erkennen lässt. In der starken Büchse P wird die Polaraxe durch die Vermittlung des Uhrkreises Z und des Gestänges r durch ein Uhrwerk bewegt, welches sich auf einem besonderen Pfeiler befindet, damit alle Erschütterungen vom Heliostaten fern gehalten werden. Die Polaraxe trägt an ihrem unteren Ende einen starken gegabelten Lagerbock für die Aufnahme der sich in der Äquatorealebene bewegenden Axe F des Gradbogens g. Die Theilung desselben, welche zur Einstellung

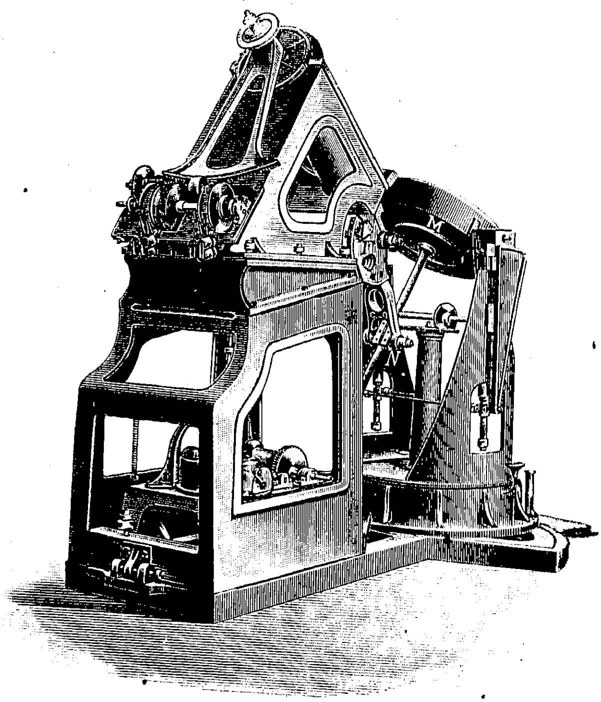


Fig. 631.

der Sonnendeklination dient, kann durch das Mikroskop m′ abgelesen werden, ebenso wie die des Stundenkreises S durch das Mikroskop bei m. Der Gradbogen g hat über sein Centrum hinaus den langen, radialen Ansatz FN, welcher bei N die oben schon erwähnte Gleitbüchse frei beweglich trägt. Die polirte Stange N N′ steht normal zu dem Spiegel Sp und würde verlängert durch dessen Mitte gehen. Dieser selbst ist einmal um die stets horizontal bleibende Axe h und sodann um die vertikale Axe v drehbar. Die Einrichtung dieser Axe sowie die Führung des vertikalen Theiles des Uhrgestänges ist aus der Figur leicht zu erkennen. Um vom Beobachtungsraum aus sowohl Korrekturen im Sinne des Stundenwinkels als der Deklination vornehmen zu können, leiten von dort die Gestänge a und δ zu den Feinbewegungsschrauben bei f und f′. Während die erstere zu einer Verstellung des Lagerbockes l resp.

der Stundenaxe gegenüber dem Uhrkreis dient, steht die letztere durch die Räderübertragung bei K′ mit der Schraube bei K″ in Verbindung, welche ihrerseits mittelst eines Kugelgelenks die Klemme n und damit den Deklinationskreis bewegt, sodass bei den kleinen Ortsveränderungen dieser Klemme keine Störung der Zahnradeingriffe erfolgen kann. Im Allgemeinen ist diese Feinbewegungseinrichtung ganz ähnlich derjenigen, welche die Repsolds auch bei ihren Äquatorealen anzuwenden pflegen. An Eleganz lässt dieser äusserst vollkommene Apparat nichts zu wünschen übrig. Ganz neuerlich ist in der-

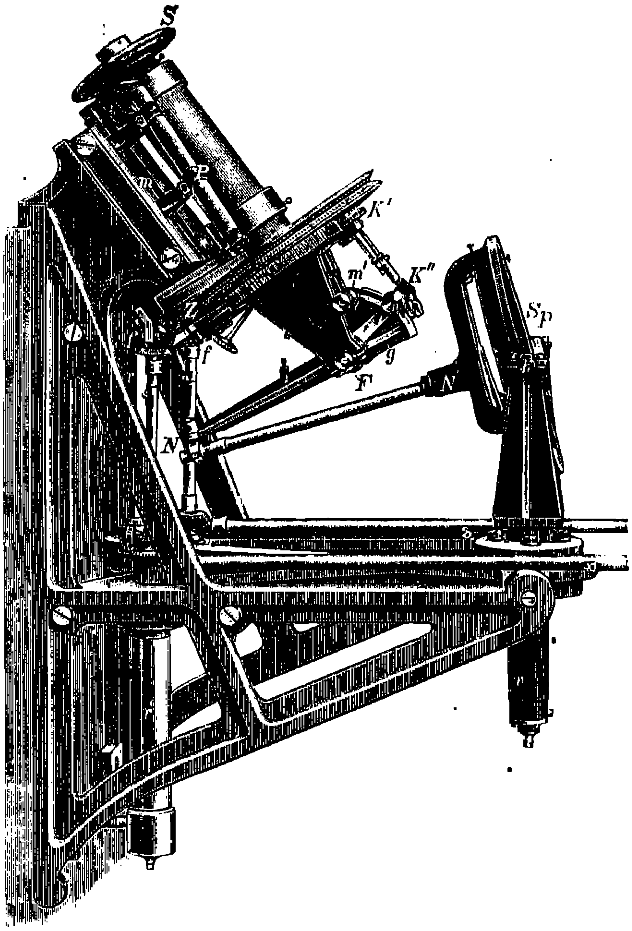


Fig. 632.

selben Werkstätte ein neuer Siderostat gebaut worden, welcher im Princip eine ähnliche Konstruktion zeigt, nur ist die Anordnung der einzelnen Theile, namentlich die Lagerung der Polaraxe p eine andere, wie Fig. 633 erkennen lässt. Dieselbe ist ausserdem nicht für eine bestimmte Polhöhe festgestellt, sondern sie kann zwischen den äusserst massiv gebauten Führungsbögen B des Ständers T um ein Stück bewegt werden, welches dem Intervall zwischen den Polhöhen von 50⁰—70⁰ gleichkommt. Diesem Umstande entsprechend sind die Eingriffe der Uhr und der Feinbewegungen auch etwas verändert.

Die erstere ist wiederum neben dem Instrument auf besonderer Aufstellung gedacht.

Auch Fuss in Berlin hat vor einigen Jahren einen sehr zweckmässigen Heliostaten nach den allgemeinen Principien gebaut. Derselbe ist in Fig. 634 dargestellt. Auf einer schweren, runden Grundplatte von Messing mit drei Stellschrauben erhebt sich eine schwach konische Säule A, die von einer drehbaren Hülse H umschlossen wird. Mit letzterer ist ein kreisförmiger Arm B verbunden, welcher die zu ihm radial gerichtete Axe O des Spiegels M trägt. Durch den Durchschnitt L kann eine zur Horizontirung dienende Dosenlibelle gesehen werden. Innen ist die Säule A konisch ausgebohrt zur Aufnahme der

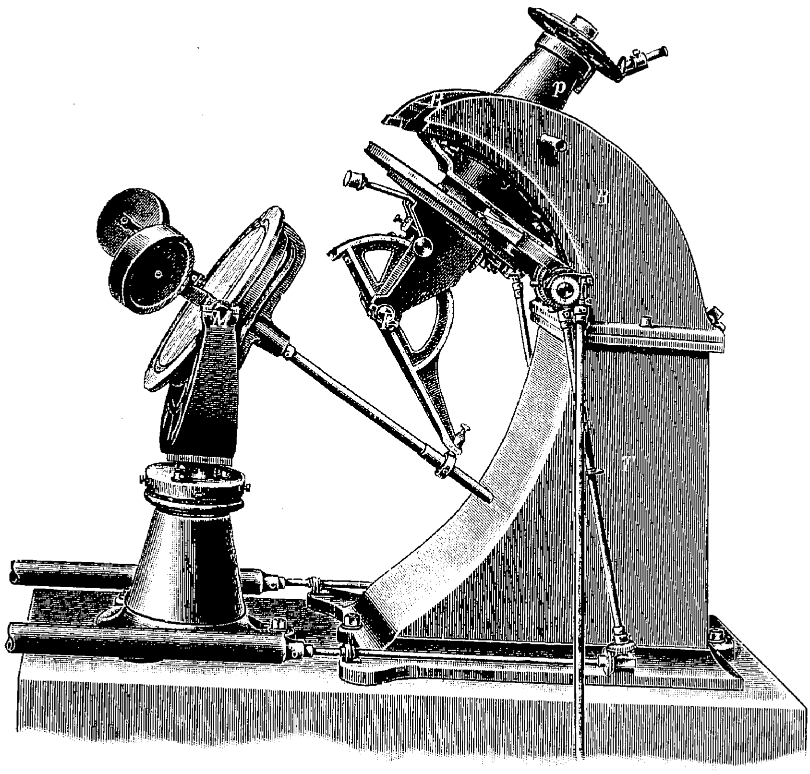


Fig. 633.

Vertikalaxe, welche mittelst einer Klammer das Bogenstück D hält. Auf diesem befinden sich nebeneinander zwei koncentrische Gradtheilungen für Polhöhe und Deklination. Die Stundenaxe n x des Instruments ist in dem Bogenstück D, und zwar koincidirend mit dem 90. Gradstrich der Theilungen radial eingelagert. Auf die Stundenaxe ist eine Hülse C aufgesteckt, welche bei b geklemmt werden kann. Am oberen Ende trägt C einen zu ihrer Drehungsaxe senkrechten Querstab c mit zapfenförmigen Enden, um die sich ein Ring r dreht. Die scharfe Kante der Peripherie von r dient als Marke zur Einstellung der Deklination. Während die Einstellung für Polhöhe am

zweiten Theilbogen durch den Index o an dem Klemmstück der Vertikalaxe erfolgt.

Ein kleiner, bei n auf c befestigter Halbkreis dient der ebenfalls am Bogenstück D befestigten Uhr U als Zifferblatt, welches mittelst des Zeigers a zur Einstellung des Stundenwinkels dient. In der Verlängerung der Ebene des Ringes r trägt ein mit diesem fest verbundener Arm ein Doppelgelenk v, welches die Führung des Spiegels M an dem von seiner Fassung ausgehenden Stabe S bewirkt. Der Angriffspunkt von v und die der Spiegelfläche parallele Axe u des Spiegels M sind vom Mittelpunkte des Ringes r gleich weit entfernt.

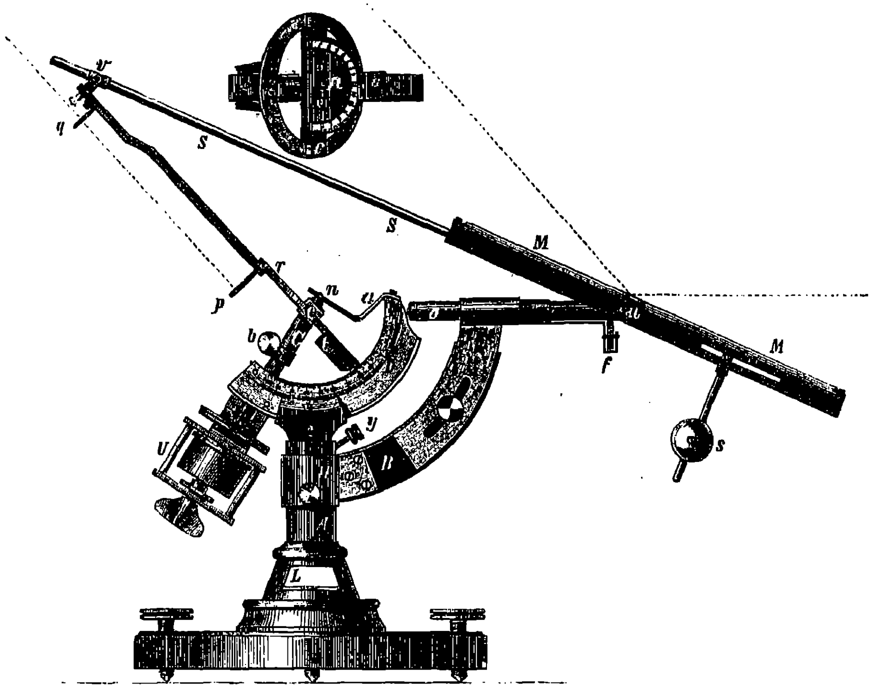


Fig. 634.

Durch die Diopter q und p erfolgt die Einstellung der Sonne in bekannter Weise. Auf der Unterseite trägt der Ring r das Gegengewicht t. Die Last des Spiegels M wird von der unter dem Schwerpunkt desselben angebrachten Friktionsrolle f getragen. Mit dem Laufgewicht s kann die vollkommene Balancirung des Spiegels in allen Lagen hergestellt werden.

Die Wirkungsweise dieses Heliostaten lässt sich aus der schematischen Fig. 635 leicht erkennen. Ist a die Vertikalaxe, b die Stundenaxe, c die horizontal gedachte feste Reflexionsrichtung, und seien die Punkte d, f und e die Projektionen dreier Axen, um die sich der Spiegel d k, seine Führungsstange d f und die Stange f e in einer zugleich durch die Stundenaxe gehenden Ebene bewegen; dann ist e d = e f und weiterhin der Winkel f e h = Winkel

g d h, gleich der Höhe der Sonne,[1]) wenn sich dieselbe im Meridian befindet. Da nun f e dem einfallenden Strahl parallel gestellt ist und bei der Drehung um die Stundenaxe demselben auch parallel bleibt, so ist

$\sphericalangle fdh = {}^1/_2 \sphericalangle feh$ und weiterhin

$\sphericalangle gdf = {}^1/_2 \sphericalangle feh$ ebenso

$\sphericalangle gdf = \sphericalangle idk$, da g d f der Einfallswinkel des Strahles g d und i d k sein Reflexionswinkel ist; damit hat man aber: $\sphericalangle fdh = \sphericalangle idk$, woraus sich ergiebt, dass der reflektirte Strahl stets mit c d resp. h i zusammenfallen muss.

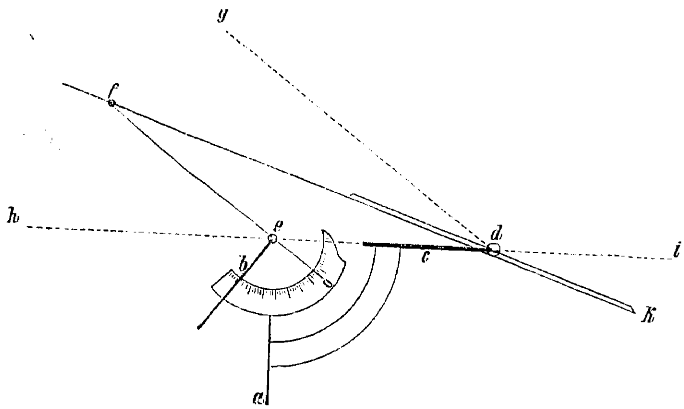


Fig. 635.

So interessant auch die Betrachtung der einzelnen Konstruktionen dieser Instrumente sein mag, so müssen wir uns hier leider doch ein allgemeines Eingehen auf die vielfachen Konstruktionen versagen, nur einige in der Himmelsphotographie besonders vorkommende Specialausführungen seien noch erwähnt. Lässt man den Punkt M (Spiegelmitte) mit der Polaraxe zusammenfallen, ohne die Beweglichkeit des Spiegels weiter zu beschränken, als dass er sich zwischen zwei Gabeln bewegen muss, deren Axen die Richtungen F M und G M haben und deren gemeinschaftliche in der Spiegelebene liegende Verbindung beider Gabelenden der Richtung M R enstpricht, während die Spiegel-Normale N N′ ihre den Winkel F M G halbirende Richtung durch eine Parallelogrammführung erhält, so hat man den in Fig. 636 dargestellten Silbermann'schen Heliostaten. Durch geeignete Einstellung

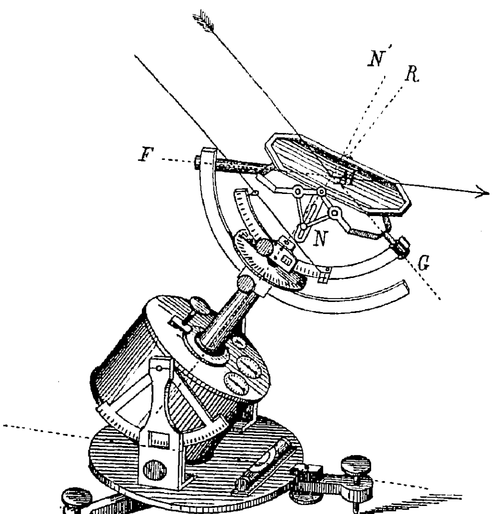


Fig. 636.
(Nach Carl, Repertorium, Bd. II.)

[1]) In der Zeichnung ist die Deklination der Sonne gleich 0° angenommen.

kann man bei diesem dem reflektirten Strahle noch jede beliebige Richtung geben. Dagegen ist bei dem von August, resp. Littrow angegebenen Instrumente die Wahl schon dadurch beschränkt, dass die Reflexionsrichtung in dem Parallel der Sonne liegen muss, so dass also für eine bestimmte Zeit einfallender und reflektirter Strahl zusammenfallen müssen. Mit dieser Beschränkung kommt man allerdings zu einer sehr einfachen Aufstellung; es muss nämlich dann die Ebene des Spiegels durch die Polaraxe selbst gehen, wie es die Fig. 637 veranschaulicht. Die Drehung um diese Axe ist dann, wie leicht einzusehen, von der halben Geschwindigkeit derjenigen, welche die Sonne scheinbar besitzt; also in nahe 48 Stunden eine Umdrehung. Giebt

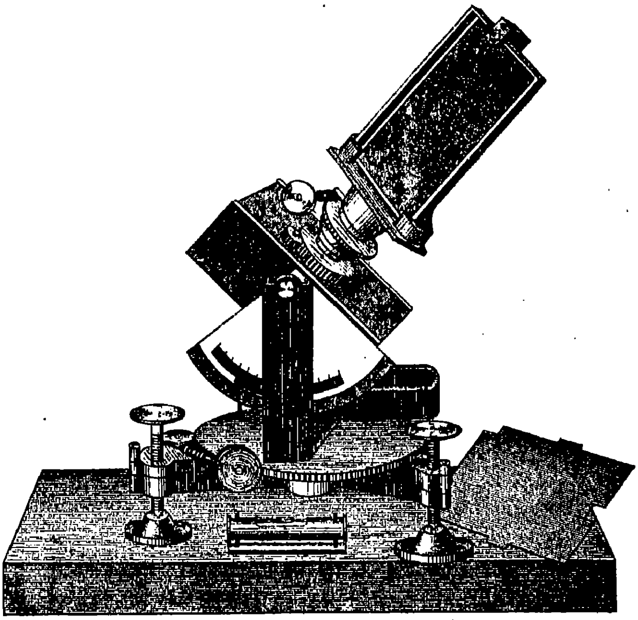


Fig. 637.
(Nach Carl, Repertorium, Bd. II.)

man dem reflektirten Strahl die Richtung nach dem Punkt des Aufganges oder Unterganges der Sonne, so ist derselbe auch zugleich horizontal, wie es für die meisten Zwecke wünschenswerth sein wird.

Eine andere Vereinfachung tritt ein, wenn der reflektirte Strahl z. B. in die Richtung der Polaraxe fallen soll,[1]) wie dieses bei den Heliographen von Potsdam, den Grubb'schen u. s. w. erforderlich ist. Ein Beispiel für diese Art der Heliostaten giebt der oben beim Potsdamer Heliographen beschriebene Apparat. Einen weiteren Konstruktionstypus der Helio- oder Siderostaten bilden

[1]) Diese Konstruktion wird auch häufig nach Fraunhofer benannt, der zu seinen Untersuchungen ähnlich gebaute Instrumente verwandt hat. Vergl. Fraunhofer, Gesammelte Schriften, S. 158 und des Weiteren: Carl, Repertorium, Bd. II, S. 10 — Dr. Zech, Über Heliostaten. Dort sind auch noch einige interessante Betrachtungen über Heliostaten im allgemeinen gegeben.

diejenigen, bei denen man die Vortheile, die eine günstig gewählte Richtung für den festen (refl.) Strahl bieten, also z. B. die der Polaraxe parallele Lage, nicht aufgegeben hat, aber trotzdem mit Hülfe eines zweiten Spiegels die Ablenkung des festen Strahls nach jeder beliebigen Richtung bewirken will. Ein Instrument dieser Art zeigt die Fig. 638.[1])

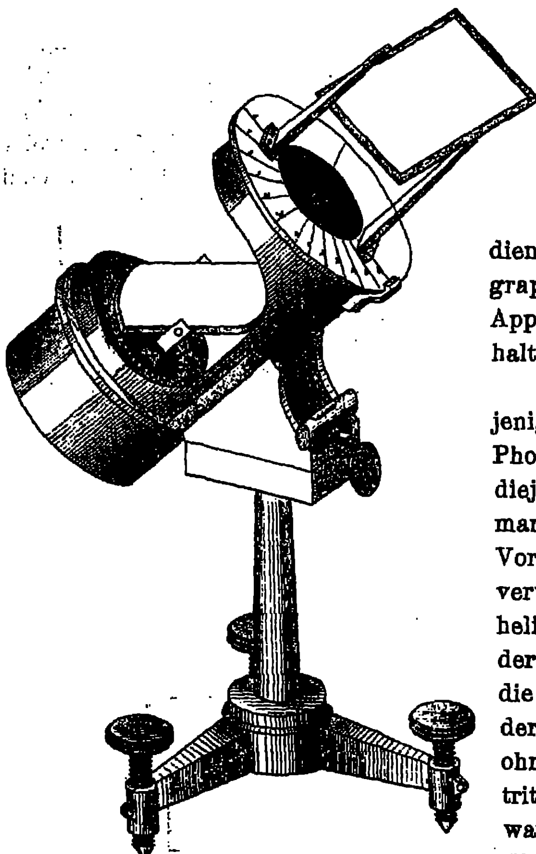


Fig. 638.
(Nach Carl, Repertorium, Bd. II.)

Diese so ausserordentlich mannigfaltigen Instrumente verlassend, wenden wir uns nunmehr zu den der Himmelsphotographie im Allgemeinen dienenden Instrumenten, den photographischen Refraktoren und den Apparaten zur Ausmessung der erhaltenen Photogramme.

Eigentlich würden unter denjenigen Instrumenten, welche zur Photographie der Sonne dienen, auch diejenigen zu erwähnen sein, welche man zum Studium der physikalischen Vorgänge auf derselben gegenwärtig verwendet. Es sind dies die Spektroheliographen, welche zur Photographie der Sonnenprotuberanzen dienen, und die Coronographen, welche die Form der Corona aufzunehmen gestatten, ohne dass man wie sonst auf den Eintritt einer totalen Sonnenfinsterniss zu warten braucht. Die Beschreibung dieser Instrumente würde aber sehr weit abführen von dem Zwecke dieses Buches, welches eigentlich nur die Instrumente der sphärischen Astronomie in Betracht ziehen soll. Weiterhin würde auch die ausserordentliche Mannigfaltigkeit, welche der noch in der Entwicklung begriffene Bau dieser Instrumente mit sich bringt, eine grosse Ausdehnung der nöthigen Beschreibungen bei einer nur einigermassen vollständigen Aufzählung annehmen. Ich muss es mir daher versagen, diese Apparate hier zu besprechen, was um so mehr berechtigt erscheint, als in letzter Zeit die schon oben angeführten astrophysikalischen Specialwerke erschienen sind.

4. Die photographischen Refraktoren.

Sowohl das Studium bestimmter kleiner Theile des Himmels, z. B. der Konstitution der Sternhaufen oder der Nebelflecke oder auch der Formen

[1]) Der abgebildete Heliostat ist nach Reusch's Angaben gebaut (Carl, Repertorium, Bd. II, S. 10).

von Kometen, als auch die photographische Aufnahme grosser Gebiete und im Speciellen die Anfertigung einer photographischen Himmelskarte haben den Bau grosser Refraktoren und Reflektoren veranlasst, deren Einrichtungen speciell den photographischen Aufnahmen angepasst wurden. Es sind bestimmte Forderungen, welche zu diesem Zwecke gestellt werden müssen. Hierhin gehört namentlich, in Anbetracht der geringen aktinischen Wirkung des Lichtes der Gestirne, eine grosse Stabilität der Montirung, da unter Umständen eine viele Stunden andauernde Exposition der photographischen Platte nöthig ist. Während dieser Zeit aber dürfen die Bilder der Gestirne ihren Ort auf der photographischen Platte nicht ändern. Da aber selbst ein tadellos arbeitendes Uhrwerk nicht im Stande sein wird, die Veränderung des Bildortes, wie sie durch die veränderliche Refraktion und durch die Wirkungen der Schwere auf das Instrument hervorgebracht werden, auszugleichen, so ist es nöthig, neben demjenigen optischen System, welches der photographischen Aufnahme dient, noch ein zweites mit diesem fest verbundenes anzubringen, durch welches ein Beobachter das erstere bezüglich seiner Einstellung zu kontroliren und eventuell zu berichtigen vermag. Namentlich die durch die Biegung hervorgebrachten Änderungen in der Richtung der Absehenslinie gegen ihre ideale Lage können nur kontrolirt werden durch ein Fernrohr von ähnlichen Dimensionen und von nahe gleichem Bau wie das photographische, aber nicht durch einen etwa in der gewöhnlichen Weise angebrachten Sucher. Deshalb hat man neuerdings die photographischen Refraktoren fast ausschliesslich als Doppelinstrumente gebaut.

Ein Objektiv, welches für die photographisch wirksamen Strahlen achromatisirt ist, entwirft das Bild der Gestirne direkt auf einer die Stelle des Okulars vertretenden photographischen Platte. Neben diesem Systeme ist aber, womöglich organisch mit demselben verbunden, ein optisches System von nahe gleicher Brennweite für visuelle Beobachtungen gelagert, welches dem photographischen als „Leitfernrohr“ dient.[1])

Man hat auch wohl neben der Kassette für die photographische Platte bei gewöhnlichen Refraktoren noch ein besonderes Okular angebracht, mit welchem man in der Lage ist, das Bild eines seitlich stehenden Sternes, welches auch von dem die zu photographirende Himmelsgegend entwerfenden Objektiv erzeugt wird, auf einem in dem Okular angebrachten Fadenkreuze während der Expositionszeit zu halten. Diese Methode hat doch der eben beschriebenen bei den neueren Instrumenten weichen müssen, da bei ihr, abgesehen von der Verwendung von Reflektoren, bei denen bekanntlich gleichzeitige Achromasie für alle Strahlen besteht, die Bildbeschaffenheit für die visuelle Beobachtung des Gestirnes eine mangelhafte war.

[1]) Da man auch mittelst der grossen Objektive von 20 und mehr Zoll Öffnung, welche die grossen Refraktoren der Neuzeit besitzen, ab und zu photographische Aufnahmen zu machen wünscht, ohne doch dieselben speciell für die chemisch wirksamen Strahlen achromatisiren zu können, so hat man für diesen Zweck Einrichtungen getroffen, welche solche Objektive unter Umständen nach beiden Richtungen auszunutzen gestatten. Es gehört dahin namentlich die Einrichtung, welche die Veränderung der Abstände zwischen den das Objektiv zusammen setzenden Einzellinsen ermöglicht. Vergl. die Beschreibung der betreffenden grossen Refraktoren.

a. Der Pariser photographische Refraktor.

Die beste Anordnung für die Verbindung eines photographischen Refraktors mit einem Leitfernrohr gaben die Gebrüder HENRY in Paris an, welche das Princip der Doppelinstrumente anwandten. Dieselben vereinigten photographischen Tubus und Leitfernrohr, beide von gleicher Brennweite, in einem

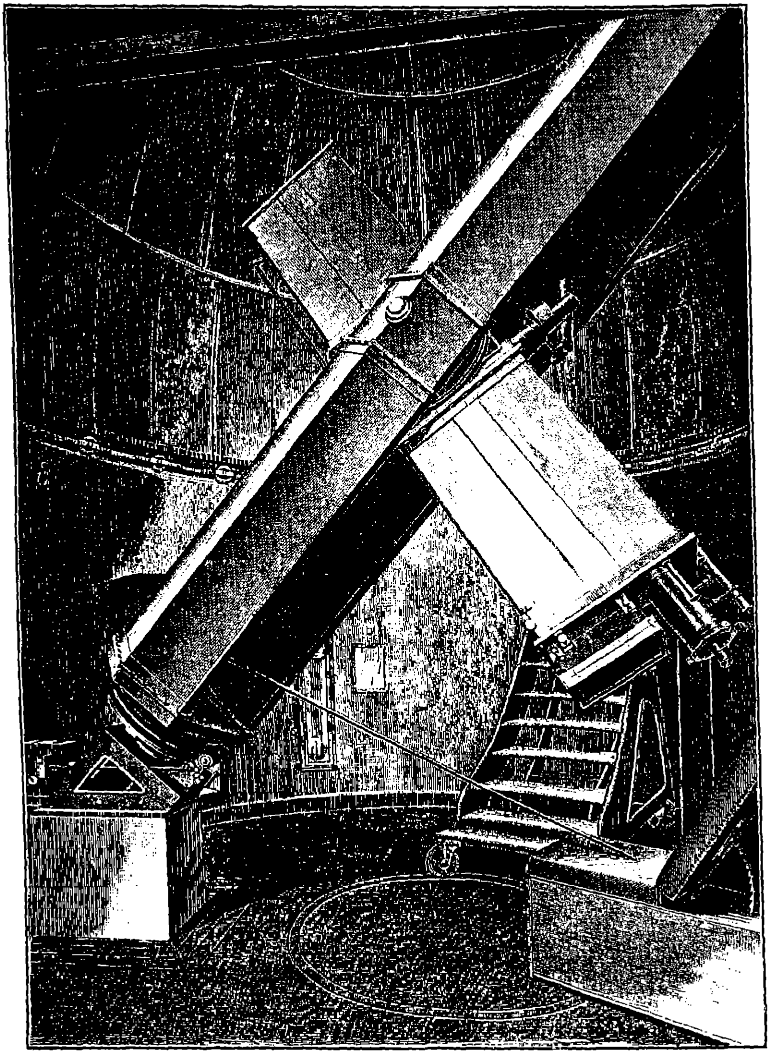


Fig. 639.

einzigen Rohre, Fig. 639, in welchem nur eine schmale Scheidewand die Trennung beider Systeme bewirkte.

Dieses Instrument verdient insofern ein besonderes Interesse, als nach dem Muster seiner optischen Theile diejenigen der anderen zur Herstellung der photographischen Himmelskarte bestimmten Refraktoren angefertigt wurden.

Das photographische Objektiv besitzt eine Öffnung von 34 cm und eine

Brennweite von 3,4 m (Verhältniss als 1 : 10), das dicht daneben gelagerte visuelle Objektiv dagegen bei gleicher Brennweite eine Öffnung von 23 cm (Verhältniss 1 : 15). Beide in einen einzigen Kasten eingeschlossene Fernrohre bewegen sich um eine nahe der Mitte dieses Kastens senkrecht zu den Absehenslinien angebrachte Axe, welche die Deklinationsaxe der nach englischer Methode ausgeführten äquatorealen Montirung vorstellt. Die Montirung ist eine äusserst einfache, wie die Figur erkennen lässt, aber für den betreffenden Zweck besonders geeignete. Dieselbe gestattet nämlich eine Exposition, welche sich über östliche und westliche Stundenwinkel erstreckt, ohne während derselben eine Umlegung des Fernrohres ausführen zu müssen, wie es die gewöhnliche deutsche Montirung nöthig machen würde. Um die Bilder der Gestirne im Sinne der Rektascension am gleichen Orte der Bildfläche zu halten, benutzt man einen besonderen, langen Schlüssel, welcher mit der Feinbewegung um die Stundenaxe in Verbindung steht. In Deklination aber kann bei diesem Instrumente die Platte, welche den Okularstutzen und die Kassette gemeinschaftlich trägt, durch eine Feinbewegung verschoben werden, so dass, wenn im Okular ein Gestirn auf dem Fadenkreuzungspunkt gehalten wird, dasselbe auch auf der Platte seinen Ort nicht verändert.

Ein ganz ähnliches Instrument, wie das Pariser, wurde später für das Collegio Romano gebaut. Nachdem das internationale Unternehmen der Kartirung des Himmels auf photographischem Wege zu Stande gekommen war, wurden nach den von dem Komité zu Grunde gelegten Vorschriften eine grössere Anzahl photographischer Refraktoren gebaut, welche alle dieselben Dimensionen bezüglich ihrer optischen Theile besitzen. Namentlich Grubb in Dublin und Repsold in Hamburg befassten sich mit deren Montirung.

b. Die photographischen Refraktoren von Grubb.

Grubb hat seinen Instrumenten zwei verschiedene Formen gegeben, welche sich im Wesentlichen nur durch die Öffnung und Anordnung des Leitfernrohrs unterscheiden.

Fig. 640 zeigt die neuere Form dieser Instrumente, während Fig. 641 die bei beiden Formen gleiche Anordnung des inneren Theiles erkennen lässt. Grubb hat abweichend von dem französischen Vorbilde die „deutsche Aufstellung“ gewählt, und die Bedingung, dass man während des Übergangs von östlichen zu westlichen Stundenwinkeln wenigstens für die Dauer einer Stunde das Fernrohr nicht umzulegen braucht, dadurch erfüllt, dass er das Fernrohr selbst an einer verhältnissmässig sehr langen Deklinationsaxe befestigte. Um eine möglichst leichte Beweglichkeit des Instruments um die Stundenaxe zu erzielen, was für den hier so nöthigen regelmässigen Gang des Triebwerkes von besonderer Bedeutung ist, hat Grubb eine sehr sorgfältige Äquilibrirung der Stundenaxe ausgeführt, deren Einrichtung in Fig. 641 sichtbar ist.

Der obere Theil der Stundenaxe wird unterstützt durch eine um eine horizontale Axe drehbare Friktionsrolle b, welche gegen einen konischen Hals a am unteren Rande des oberen Axenzapfens drückt. Die Axe dieser Rolle läuft in einer Gabel, welche den oberen Theil einer starken Säule c

bildet. Diese im Innern des Stativs befindliche Säule c ruht mit ihrem unteren spitzen Ende auf dem kurzen Arme eines Hebels d, welcher sich dicht über der Grundplatte des Stativs befindet. Der Druck, welcher durch die am langen Ende des Hebels d angebrachten Gegengewichte ausgeübt wird, geht in seiner Richtung direkt durch den Schwerpunkt der beweglichen

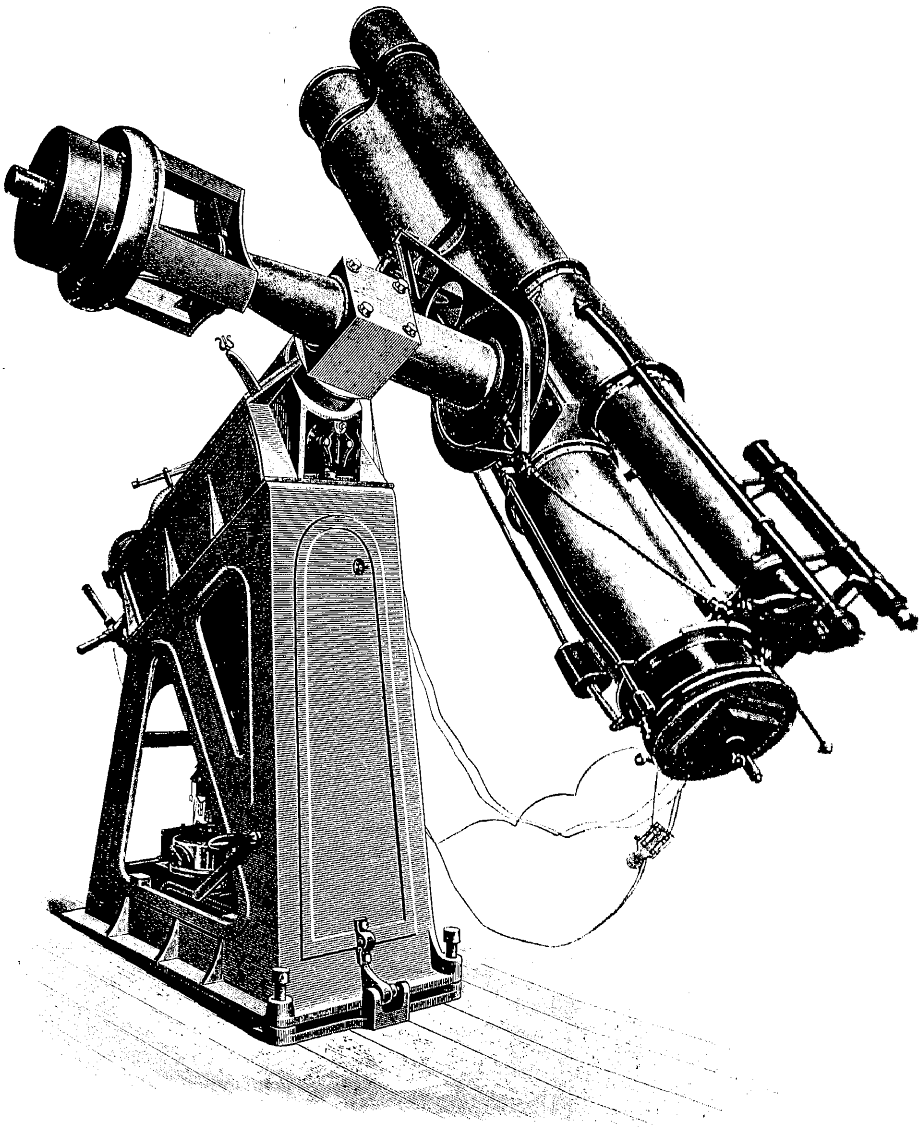


Fig. 640.

Theile des Gesammtinstruments, da die geometrische Axe von c nach oben verlängert gedacht, diesen Punkt schneidet. Von besonderem Interesse ist bei den Grubb'schen Instrumenten dieser Art die Kontroleinrichtung für den gleichmässigen Gang des Triebwerkes. Von dieser Anordnung sei hier nur so viel erwähnt, als zum Verständniss der in der Figur noch angegebenen

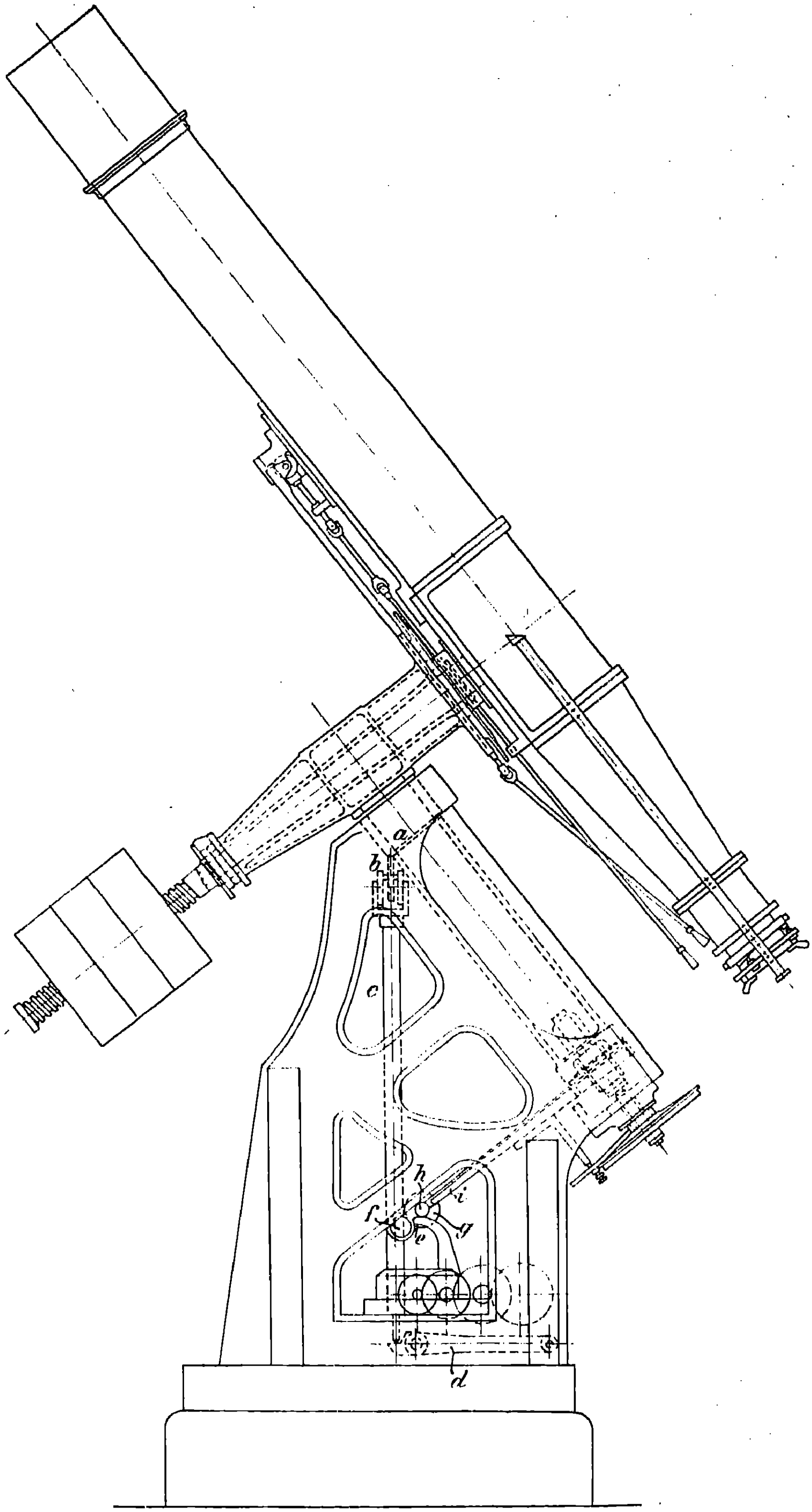


Fig. 641.

Theile nöthig ist, während die Gesammteinrichtung verschiedener solcher Regulatoren in dem Abschnitt über die Triebwerke grosser Refraktoren näher beschrieben wird. Das untere Ende der Stundenaxe trägt den gezahnten Sektor i, in welchen eine Schraube ohne Ende h eingreift, welche an ihrem einen Ende das Rad g trägt. Dieses greift in ein zweites Zahnrad f ein welches seinerseits auf derselben Axe mit einem Kerbenrad so sitzt, dass f durch die Schnecke e von dem Triebwerk in Bewegung gesetzt werden kann. Der Zweck dieser Einrichtung ist, möglichst wenig Zwischenglieder zwischen Stundenaxe und Uhrregulator einzuschalten. Aus diesem Grunde ist auch die Schnecke e direkt auf der Spindel des Centrifugalregulators befestigt.

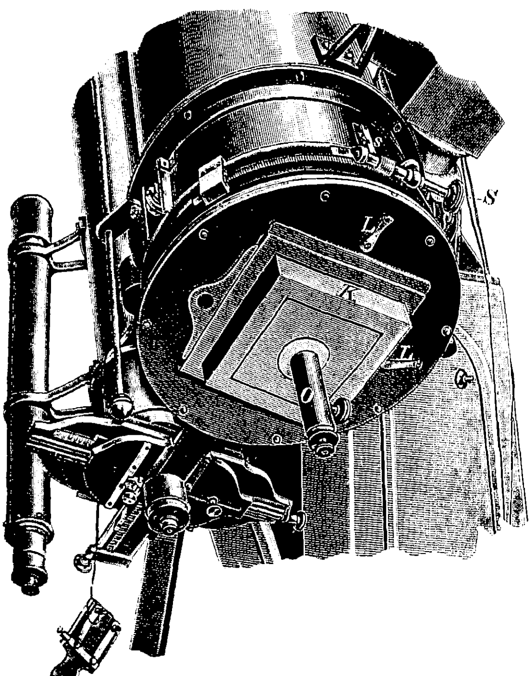


Fig. 642.

Die Einrichtung der Okulartheile des Leitfernrohrs, sowie die Anordnung der Kassette des photographischen Fernrohres zeigt die Fig. 642. Besonders bemerkenswert daran ist die starke Verschiebbarkeit des Okulars des Leitfernrohres, um unter Unständen auch Sterne als Leitobjekte benützen zu können, die ganz am Rande des aufzunehmenden Gebietes von etwa 4 Quadratgraden oder sogar noch ausserhalb desselben liegen.

Am photographischen Fernrohr bewegt sich in einem Stutzen von derselben Weite wie das Hauptrohr der Auszug, welcher die Kassette trägt, deren Entfernung vom Objektiv an einer Skala bei s abgelesen werden kann. Ausserdem besitzt der Kameraauszug noch eine Bewegung um die optische Axe, welche etwa 90° umfasst, und die mittelst der Schraube S und eines eingekerbten Ringes ausführbar ist. An der Frontseite dieser Platte kann die Kamera K mittelst der Wirbel L befestigt werden. Auf der Rückseite der Kassettenplatte ist das Okular O befestigt, mit welchem man eine direkte Einstellung der Gestirne ausführen kann. Eine Aufsuchung der Fokalstellung für die photographische Platte dürfte auf diese Weise selbst bei Anwendung geeigneten homogenen Lichts nicht ausführbar sein; zu diesem Zwecke können nur Aufnahmen bei verschiedenen Entfernungen der Kassette vom Objektiv (nahe vor und hinter der vermuthlichen Brennebene) verwendet werden. Solche Aufnahmen sind auch bei verschiedenen Temperaturen auszuführen, um den

Einfluss dieser auf die Brennweite festzustellen, um ihn bei wirklichen Aufnahmen in Rechnung ziehen zu können.

Die innere Einrichtung des Kameraendes, wie sie Grubb anzuwenden pflegt, ist in Fig. 643 noch besonders dargestellt.[1]) Hier ist A B der Plattenhalter, in welchem sich der Schieber D bewegt. Bei P befindet sich die photographische Platte. Dieselbe ruht auf den Platin-Iridiumspitzen c d e und wird von hinten durch die Feder a angepresst. Ebenso wird sie in der Richtung senkrecht zur optischen Axe durch die aus gleichem Metall bestehenden Säulchen f g r durch den Druck der Federn R und s gehalten. Die Kassette selbst wird auf der Grundplatte durch die Wirbel X Y Z befestigt. Das Rohrstück, welches diese Theile trägt, ist, wie auch oben schon gesagt, in dem Hauptrohre K

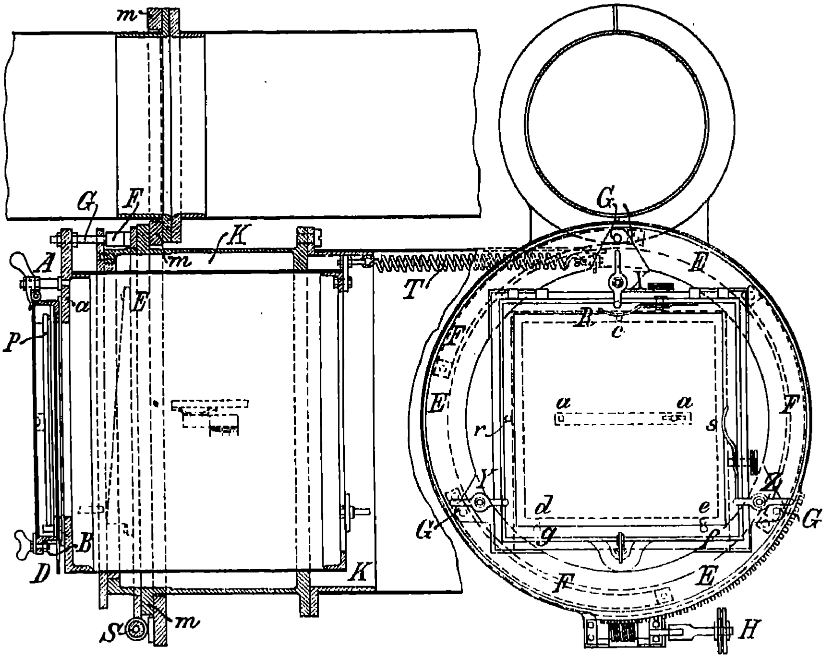


Fig. 643.

verschiebbar und wird dort wegen seiner Schwere durch drei Federn T gehalten. Um bei der durch die Schraube H (S in Fig. 642) bewirkten Drehung des ganzen Plattenstückes die Federn in ihrer Lage zu belassen, sind an dem dem Objektiv zugekehrten Ende des Auszugsrohres Ringtheile F angebracht, welche eine Bewegung der Federhaken gestatten. Durch eine Schraube bei G kann eine Sicherung der Fokalstellung erfolgen.

Grubb hat ausser diesen Instrumenten, welche den Festsetzungen des internationalen Komités genügen, nämlich Öffnungen von 33 cm bei einer

[1]) Die Details dieser Darstellung weichen von der in Fig. 642 gegebenen Ansicht in unwesentlichen Punkten ab, da sie dem in Fig. 639 gegebenen Instrument angehören. Die Vorlagen für die obigen Figuren wurden mir sowohl von Sir Howard Grubb als auch von dem Herausgeber des „Engineering“ mit dankenswerthester Bereitwilligkeit zur Verfügung gestellt.

Brennweite von 3,4 m besitzen, auch noch Instrumente konstruirt, bei welchen er an Stelle eines Refraktors einen Reflektor als photographisches Fernrohr gesetzt hat. Ein solches Instrument zeigt die Fig. 644, welche eines der für ISAAK ROBERTS und Mr. HUGGINS gebauten Instrumente darstellt.

Das Instrument besteht aus einem 8″ Refraktor und einem Reflektor mit einem Spiegel von 17″ Durchmesser. Die beiden Fernrohre sind an den entgegengesetzten Enden derselben Deklinationsaxe befestigt, haben aber getrennte Klemmen und Feinbewegung in Deklination, während die Bewegung im Stundenwinkel natürlich eine gemeinschaftliche ist. Die Einrichtung des Refraktors ist die, wie sie GRUBB im Allgemeinen anzuwenden pflegt.[1]) Der Reflektor ist ausschliesslich für photographische Aufnahmen

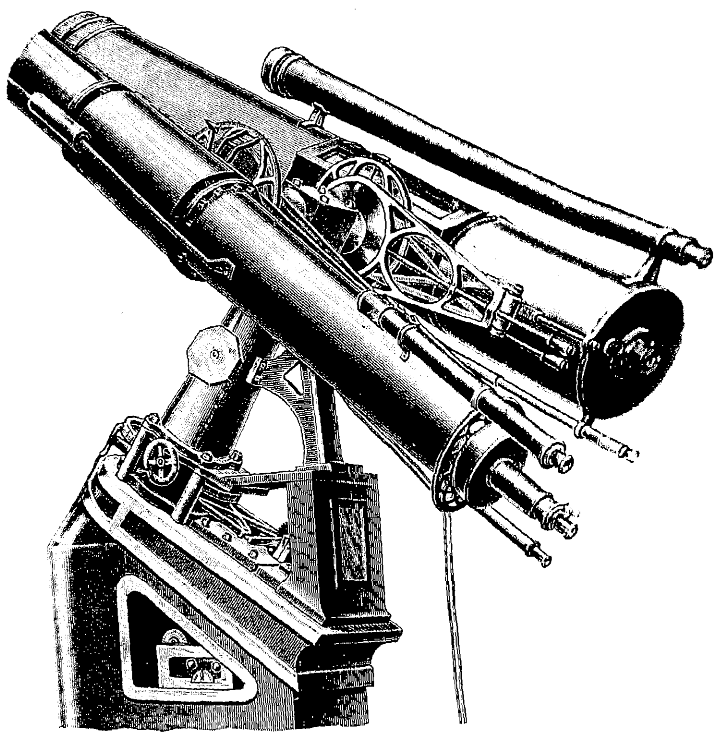


Fig. 644.

bestimmt, so dass für visuelle Beobachtungen keine Einrichtung getroffen ist. Der auf der Abbildung einem Okular ähnlich sehende Theil ist ein kleines Fernrohr, welches den Spiegel durchsetzt und dazu dient, die im Fokus des Spiegels angebrachte photographische Platte in die richtige Entfernung von diesem zu bringen. Die Kassette ist zu diesem Zwecke in der Öffnung des Teleskoprohres in einem Schlitten beweglich, und es wird auf ihr also unmittelbar das vom Spiegel entworfene Bild aufgenommen. Bei der kurzen Brennweite des Spiegels ist die Ausdehnung des so erzeugten Bildes nur eine geringe. Das Verhältniss zwischen Öffnung und Brennweite ist nur etwa 1 : 5. Es

[1]) Vergl. den Bau der Grubb'schen Refraktoren.

eignet sich deshalb dasselbe wegen seiner Lichtstärke besonders für Flächen-Aufnahmen, d. h. für solche von Kometen, Nebelflecken und dergl.

Besondere Einrichtungen sind auch bei diesem Instrument wieder getroffen, welche für eine sorgfältige Äquilibrirung der Stundenaxe Gewähr leisten.[1])

c. Die Repsold'schen Refraktoren für Himmelsphotographie.

Zum Schluss mag nun noch die Beschreibung der von REPSOLD seinen photographischen Refraktoren gegebenen Aufstellung folgen, welche sich durch mehrere Besonderheiten auszeichnet. Das für Potsdam gebaute Instrument ist in Fig. 645 in allgemeiner Ansicht dargestellt.

Geheimrath H. C. VOGEL giebt in Zschr. f. Instrkde. 1889, S. 194 im Wesentlichen die folgende Beschreibung:

Die Aufstellung des photographischen Refraktors unterscheidet sich von den gewöhnlichen parallaktischen Aufstellungen REPSOLD's zunächst dadurch, dass die gerade senkrechte Säule durch einen kurzen Säulenschaft Q in der Richtung der AR-Axe ersetzt ist, welcher sich an einen schweren Untersatz R von viereckigem Querschnitt anschliesst. Dieser Untersatz ist nach unten schräg gegen Norden vorgezogen, so dass die Horizontalprojektion des Schwerpunktes des ganzen Instruments innerhalb der vier Füsse fällt, mit welchen es auf dem Fundament steht. Zwei dieser Füsse a bilden Halbkugeln, welche in Fussplatten mit entsprechenden Höhlungen ruhen; die anderen zwei Fusspunkte b sind senkrechte Schrauben, durch welche sowohl die Korrektion in Polhöhe, als eine gleichmässige Vertheilung des Druckes auf die Grundplatte bewirkt wird. Zur Azimuth-Korrektion dient ein (im Bilde nicht sichtbares) in den Steinpfeiler eingelassenes Gussstück mit zwei Schrauben, zwischen welche ein Ansatz des Untergestelles tritt.

Das Stativ hat eine sehr grosse Festigkeit, und seine Form gestattet eine in allen Lagen vollkommen unbehinderte Bewegung des Fernrohres. Dasselbe bietet ausserdem den Vortheil, für die bei photographischen Aufnahmen besonders günstigen Stellungen stets die untere Fernrohrlage benutzen zu können; das Okular des optischen Systems bleibt daher für die Zenithlage und für Abstände bis zu 40° Zenithdistanz in einer solchen Höhe, dass ein Beobachtungsstuhl mit einfach zu verändernder Sitzhöhe und Rücklehne stets ausreichen wird.

Der Kopf des Säulenschaftes, in Form eines einfachen Konus P, bildet zugleich die Lagerbüchse der AR-Axe, welche oben unter der Anschlussfläche zwischen Kopf und Schaft ein Zahnrad und darunter den AR-Kreis trägt.

Die Ablesung dieses Kreises geschieht durch ein gebrochenes Ableserohr mit dem Okular bei α, die Beleuchtung liefert die an der Säule befestigte Lampe L;[2]) zur Bewegung in AR bedient man sich des Handrades h, welches

[1]) Ausführliche Angaben mit den nöthigen Detailzeichnungen für dieses Instrument findet man in „Engineering" 1887, Dec. 16. Hier musste aber von deren Wiedergabe des Raumes wegen abgesehen werden.

[2]) Jetzt ist die Lampe am oberen Säulentheile angebracht, vergl. Fig. 646.

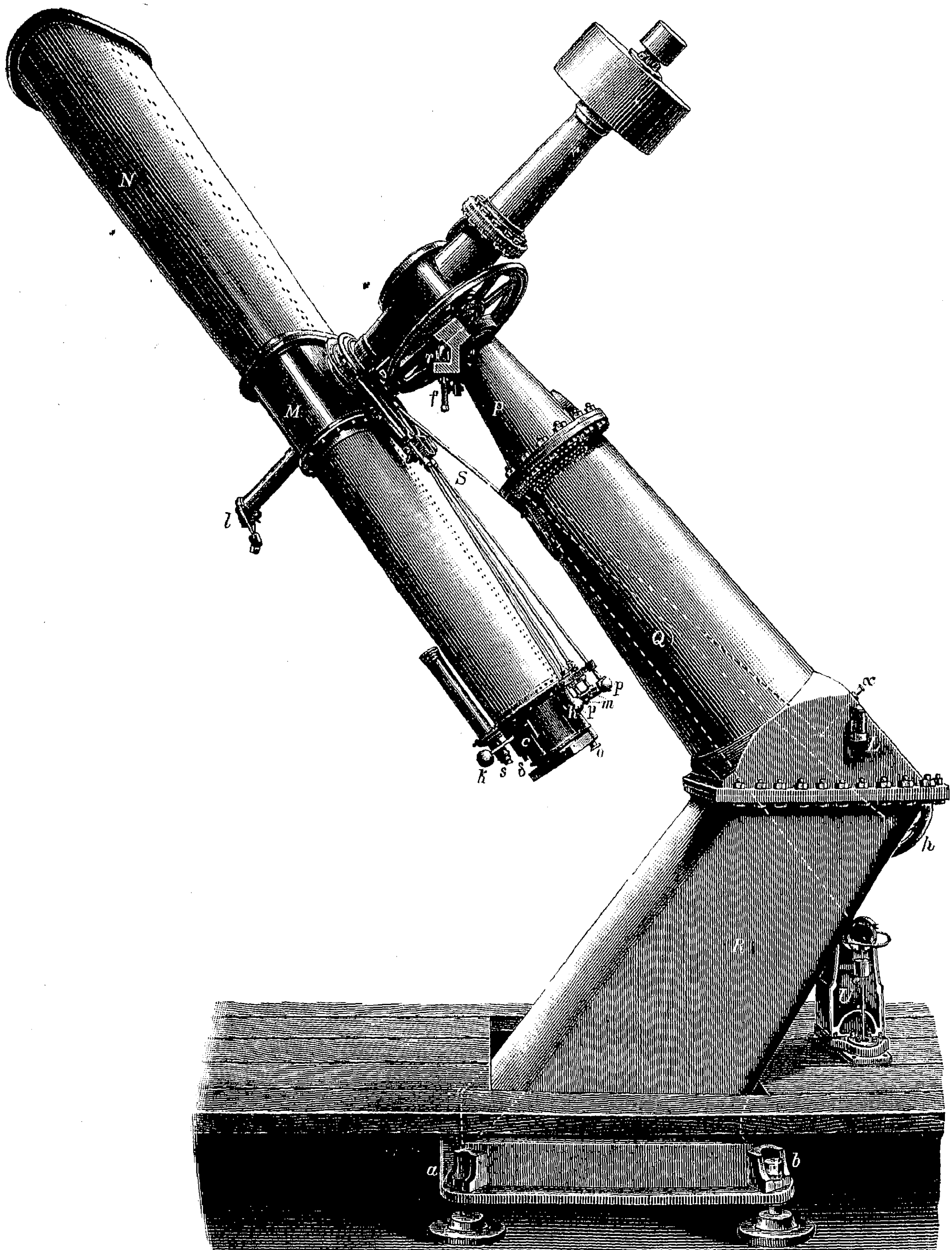


Fig. 645.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1889.)

durch eine in der Säule liegende Transmissionswelle mit Trieb auf das Zahnrad wirkt. Handrad und Okular sind bequem gleichzeitig zu benutzen.

Die Bewegung des Uhrwerkes U mit Federpendel, welches südlich von der Säule auf dem Fussboden aufgestellt ist, wird durch ein leichtes, zum Theil innerhalb der Säule geführtes Gestänge S auf die Uhrschraube übertragen.

Die weitere parallaktische Aufstellung bis zum Fernrohr ist die gewöhnliche Repsold'sche, nur wird die senkrechte Friktionsrolle bei r zur Aufhebung des Lagerdruckes der AR-Axe nicht durch ein Gewicht, sondern durch eine Spiralfeder f gehoben.[1])

Das Fernrohr besteht aus einem gusseisernen Mitteltheil M und zwei anschliessenden Stahlblechrohren N, alle drei dem gleichen Kegelmantel von ovaler Grundfläche angehörig, dessen grosse Axe rechtwinklig zur Dekli-

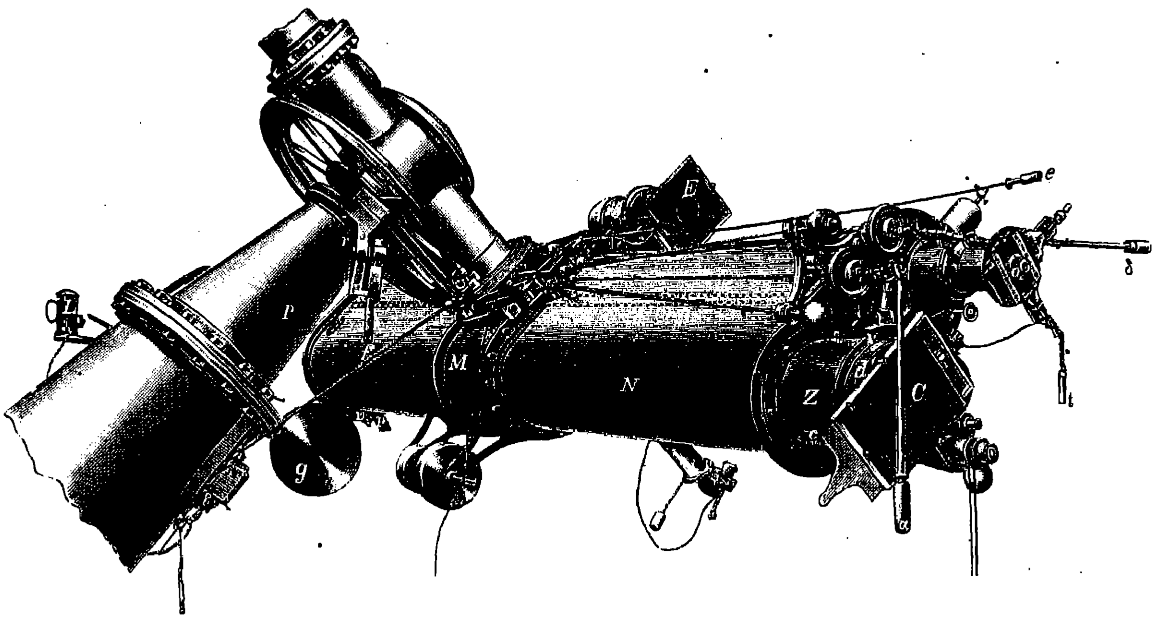


Fig. 646

nationsaxe steht. Eine der ganzen Länge nach das Rohr durchlaufende Scheidewand verhütet eine Beeinträchtigung der photographischen Bilder durch die im optischen Rohr erforderliche Beleuchtung, sie trägt zugleich zur Versteifung des Rohres bei.

Im Okular[2]) des Beobachtungsfernrohres befindet sich ein Fadennetz ohne beweglichen Faden; die Fäden sind 2,5 mm von einander entfernt und stehen in einem bestimmten Verhältniss zu der auf die photographische Platte aufzu-

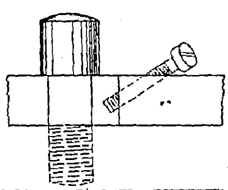
[1]) Vergl. die Beschreibung des Pulkowaer Refraktors.

[2]) Die Fig. 648 stellt eine solche Schlitteneinrichtung am Okular des Leitfernrohres besonders dar; dieselbe gestattet, wie bei den Grubb'schen Instrumenten, ebenfalls einen weiten Spielraum für die Wahl des Leitsternes; die Verschiebung des Okulars mit Fadennetz ist hier auch mittelst Mikrometerschraube messbar.

kopirenden Netztheilung. Die Beleuchtung der Fäden im dunklen Felde oder die des Feldes selbst wird durch eine am Mitteltheil des Fernrohrs angebrachte Lampe l[1]) bewirkt. Dieselbe Lampe giebt auch zugleich die Beleuchtung des Deklinationskreises, dessen Ablesung durch das Okular bei δ geschieht. Die in üblicher Weise an der der Säule zugekehrten Seite des Fernrohres liegenden Stellschraubenschlüssel m, m geben etwa 2',5 Bewegung bei einer Umdrehung; durch einen unmittelbar dahinter liegenden zweiten Knopf mit Übersetzung erreicht man aber für jede Koordinate die vierfache Geschwindigkeit zum Zwecke der ersten rohen Einstellung. Die Klemmung geschieht durch die Handgriffe p, p. Die zwei Kugeln k, k dienen nur als Handhabe zur ersten Einstellung des Fernrohres mittelst des Suchers s.

Die das photographische Fernrohr im Speciellen betreffenden Erläuterungen giebt Scheiner in seiner „Photographie der Gestirne" ausführlich, so dass ich auch hier lediglich den Ausführungen dieses sachkundigen Astronomen folgen möchte.[2])

Der Auszug Z, Fig. 646, für die photographische Platte gestattet ein Bild von vier Quadratgrad aufzunehmen. Das Auszugsrohr ist von Gusseisen und schiebt sich in gusseiserner Büchse; die Bewegung geschieht leicht und sicher durch eine seitlich angebrachte, in der Längsrichtung der Verschiebung stehende Schraube c. Eine Skala mit Lupenablesung gestattet, die Bestimmung der Einstellung bis auf Zehntelmillimeter genau auszuführen.


Fig. 647.

„Besonders praktisch und einfach sind die Kassetten C eingerichtet. Dieselben haben auf ihrer vorderen, dem Objektive zugekehrten Seite einen vertieft eingedrehten Ring d, der genau auf den Rand des Kassettenauszugsrohrs passt. Die Befestigung an dem Auszugsrohr erfolgt durch zwei Bajonettverschlüsse, deren einer eine Anschlagsschraube enthält, durch welche die feinere Orientirung der Kassetten nach dem Parallelkreise bewirkt wird (vergl. Fig. 647). Das Umwechseln der eisernen Kassetten kann mit dieser Vorrichtung in wenigen Sekunden und ohne jede Störung am eingestellten Fernrohr erfolgen.

Die Platte ruht in der Kassette auf drei kleinen Flächen auf, die in einer zu dem erwähnten Ringe d parallelen Ebene liegen, so dass ein für allemal dafür gesorgt ist, dass die Platte senkrecht zur optischen Axe steht. Es ist diese durch den Mechaniker leicht herzustellende Justirung bei weitem allen anderen Vorrichtungen vorzuziehen, bei denen die Anschlagstellen verstellbar sind und die Senkrechtstellung der Platte durch den Astronomen erfolgen muss, wodurch der Abstand der Platte von der Ansatzfläche der Kassette und damit die Fokusirung geändert wird. Das Festdrücken der Platten auf diese Anschläge geschieht bei der Repsold'schen Kassette auf sehr originelle Weise, die bei grosser Einfachheit eine Durchbiegung der Platten, wie sie bei Benutzung von auf die Rückfläche aufdrückenden

[1]) Jetzt durch elektrisches Licht ersetzt.
[2]) Scheiner, Photogr. d. Gestirne, S. 106 resp. 111.

Federn leicht entstehen kann, verhindert. Die zwei auf einer Seite befindlichen Anschläge besitzen nämlich nach vorn schräg geneigte Ansätze n, n, Fig. 649, gegen welche die Platte p gelegt wird. Hinter der dritten Anschlagfläche ist die entsprechende Schrägung an einer Feder angebracht, welche durch eine Schraube gegen die Kante der Platte gedrückt werden kann. Es war ursprünglich beabsichtigt, den sehr sanft in Sammetführung gehenden Schieber der Kassetten zum Exponiren resp. zur Beendigung der

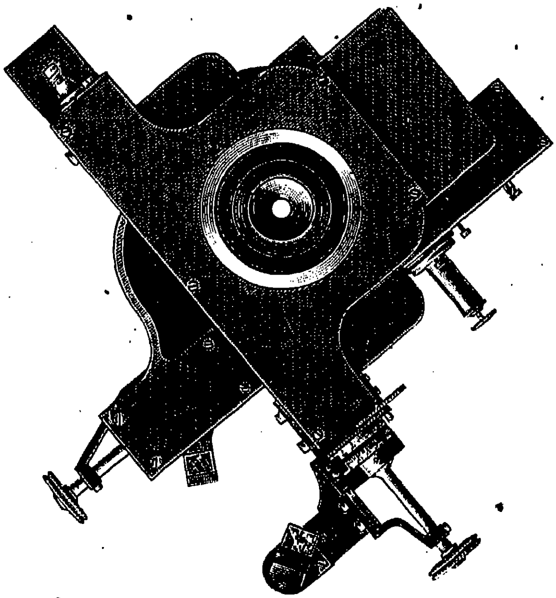


Fig. 648.

Exposition zu benutzen. Sehr bald aber zeigte sich, dass die durch die Bewegung der Schieber entstehenden, obgleich bei der Solidität der Bauart des Fernrohrs nur sehr geringen Erschütterungen bei helleren Sternen doch die grösste Präcision der Bilder verhinderten. Es wurde daher vor dem Objektive ein Klappenverschluss angebracht, der ohne merkliche Erschütterungen funktionirt. Dieser Verschluss besteht aus einem leichten kreisförmigen Metall-

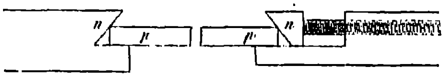


Fig. 649.

rahmen g, Fig. 646, von etwas grösserem Durchmesser als das Objektiv, der mit schwarzer Seide überzogen ist. Die so hergestellte, sehr leichte, aber undurchsichtige Scheibe besitzt an einer Stelle einen radialen Stiel, der am anderen Ende behufs Ausbalancirung ein Gegengewicht trägt. Im Schwerpunkte des Stieles q ist derselbe um eine seitlich vom Objektive angebrachte, zur optischen Axe parallele Axe drehbar: eine an der gleichen Axe befestigte Spiralfeder ist bestrebt, die Scheibe seitlich zu halten, das Objektiv also frei zu lassen. Durch eine Schnur kann die Scheibe an das Objektiv gezogen werden, in welcher Lage sie dann durch eine Arretirung festgehalten wird. Ein Druck auf einen am Okularende frei herabhängenden elektrischen Einschalter t, welcher den Elektromagneten v in Thätigkeit setzt, hebt die Arretirung auf, durch

die Spiralfeder wird die Scheibe vom Objektive weggedreht und so die Exposition bewerkstelligt, die durch Ziehen an der Schnur wieder beendigt wird."

Wie schon mehrfach erwähnt ist es nöthig, ein Netz von Linien auf der photographischen Platte gleichzeitig mit aufzunehmen, wenn auf derselben späterhin Messungen vorgenommen werden sollen oder wenn man über etwaige Veränderungen der photographischen Schicht bei der chemischen Behandlung derselben Auskunft erhalten will. Es ist deshalb nöthig, diese Liniengitter durch ein geeignetes Verfahren auf der Platte während der Aufnahme mit zu photographiren oder dieselben schon vorher in geeigneter Weise auf derselben abzubilden. Das erstere Verfahren pflegt bei den Heliographen angewandt zu werden, das letztere jedoch wird bei den Aufnahmen für die photographische Himmelskarte allgemein eingeschlagen. Bei der Benutzung solcher Gitter braucht man dann die zu bestimmenden Objekte nur an die zunächst liegenden Gitterlinien anzuschliessen, um ihre Position gegen den Mittelpunkt der Platte oder gegen andere geeignete Objekte auf derselben festzulegen. Die Beziehung der Gitterlinien zueinander gestattet dann, namentlich ohne Benutzung von Maassstäben, eine Auswerthung der relativen Koordinaten.

Es hatte erhebliche Schwierigkeiten, solche Gitter in geeigneter Weise herzustellen, da die Striche bei grosser Feinheit bezüglich ihrer Lage sehr scharfe Bedingungen erfüllen mussten. Nach vielfachen Versuchen ist es Gautier in Paris gelungen durch Einreissen von Linien mittelst einer Diamantspitze in eine auf einer Spiegelplatte befindliche Silberschicht solche Gitter anzufertigen, bei denen sowohl die Linien bis auf wenige Sekunden senkrecht auf einander stehen als auch deren Distanzen kaum $^1/_{1000}$ mm vom Sollbetrage abweichen. Das Aufkopiren dieser Gitter auf die Platte, welches vor der Exposition gleich für eine grössere Anzahl von Platten ausgeführt wird, geschieht in der Weise, dass man dicht vor das Objektiv des photographischen Fernrohrs eine für diese Zwecke besonders konstruirte Kassette aufklemmt, in welcher die Gitterplatte mit der Silberschicht, vom Okular abgewendet, befestigt ist.

Auf die Gitterplatte wird sodann mit der empfindlichen Schicht die photographische Platte aufgelegt, und zwar orientirt durch Anschläge, welche der in der oben beschriebenen Kassette befindlichen entsprechen. Es wird dadurch bewirkt, dass die Gitterlinien unmittelbar wieder den Stunden- und Parallelkreisen entsprechen.

Die Beleuchtung des Gitters und der Platte geschieht durch ein kleines Glühlämpchen im Brennpunkt des photographischen Objektivs; dadurch wird erzielt, dass die Kopie im parallelen Lichte erfolgt. Trotzdem darf aber der Abstand der photographischen Platte von der Silberschicht des Originalgitters nicht mehr als etwa $^1/_{10}$ mm betragen, aber auch direkt berühren dürfen sich beide Platten nicht, da sonst durch kleine Unreinheiten der einen oder der andern sowohl das werthvolle Gitter als auch die Platte leicht unbrauchbar werden können. Man pflegt deshalb auf die Ecken der Gitterplatte kleine Stanniolplättchen von gleicher Dicke aufzukleben, auf welcher dann die Ecken der photographischen Platte aufruhen.

Repsold hat auch mit Benutzung seiner gewöhnlichen Äquatoreal-Aufstellung photographische Refraktoren gebaut. Ein Instrument, welches bezüglich der Fernrohre dem eben besprochenen Potsdamer genau entspricht, ist in Fig. 650 dargestellt.

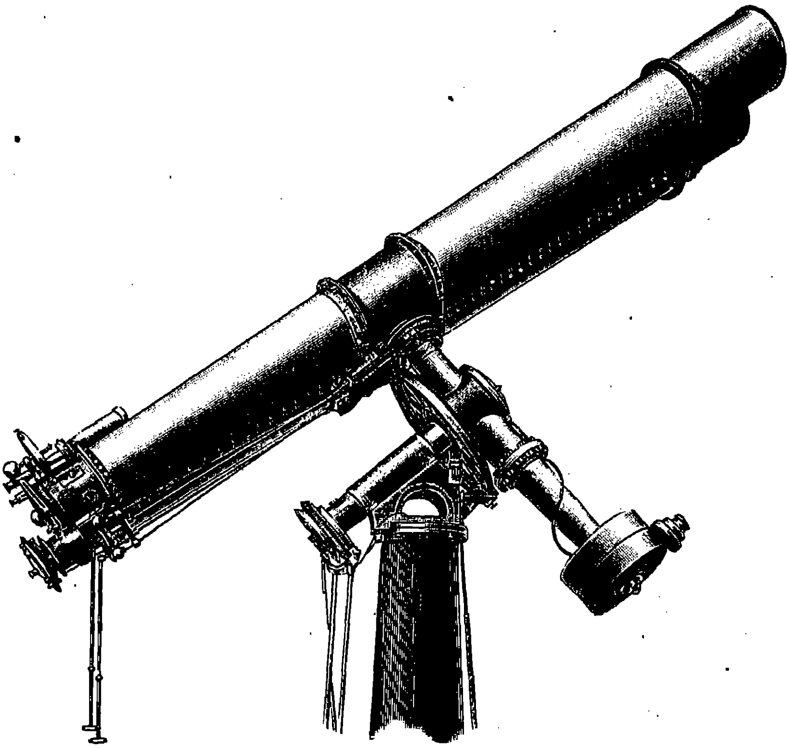


Fig. 650.

5. Instrumente zur Aufnahme lichtschwacher Objekte und grösserer Theile des Himmels.

Wie schon erwähnt, sind für die Aufnahme besonders lichtschwacher Objekte oder für diejenigen von Kometen und Nebelflecken Instrumente von grosser Lichtstärke erforderlich. Man hat daher seit längerer Zeit zu solchen Aufnahmen einfache Porträtlinsen von grosser Öffnung oder auch besser noch zu diesem Zweck gebaute Objektive von besonders kurzer Brennweite[1]) verwendet. In Deutschland ist es namentlich Max Wolf in Heidelberg gewesen, welcher derartige Aufnahmen gemacht hat.[2]) Er hat mit seinem Refraktor von 6″ Öffnung zwei euriskopische Objektive verbunden, wie es Fig. 651 erkennen lässt. Es ist mit einem solchen Instrumente möglich, grosse Theile des Himmels aufzunehmen und man kann bei Expositionszeiten von 15 und mehr Stunden, welche natürlich nicht auf einmal erlangt

[1]) z. B. die Instrumente von Pickering in Cambridge, Mass.

[2]) Die vielen Entdeckungen kleiner Planeten sind mit solchen Instrumenten gelungen. Auch in Fig. 646 ist ein solches Objektiv (grosse Porträtlinse) mit seiner Kassette sichtbar, welche später dem Instrumente angefügt wurde.

werden können, noch die feinsten Details und die Bilder äusserst schwacher Sternchen erhalten. Das abgebildete Instrument besitzt, wie auch die am Objektivende angesetzte kleine Kamera mit $2^1/_4$″ Objektiv erkennen lässt, nur provisorischen Charakter. Es soll deshalb dasselbe nicht näher beschrieben werden, zumal die Einzelheiten leicht aus der Figur erkennbar sind und ausserdem dasselbe bald durch ein im Bau begriffenes vollkommeneres ersetzt sein wird.

a. Die Heyde'sche photographische Kamera für Moskau.

Für Aufnahmen grosser Theile des Himmels hat man neuerdings besondere Instrumente konstruirt; einmal sind das photographische Kameras, welche an Stelle eines Fernrohres allein an einer parallaktischen Montirung angebracht

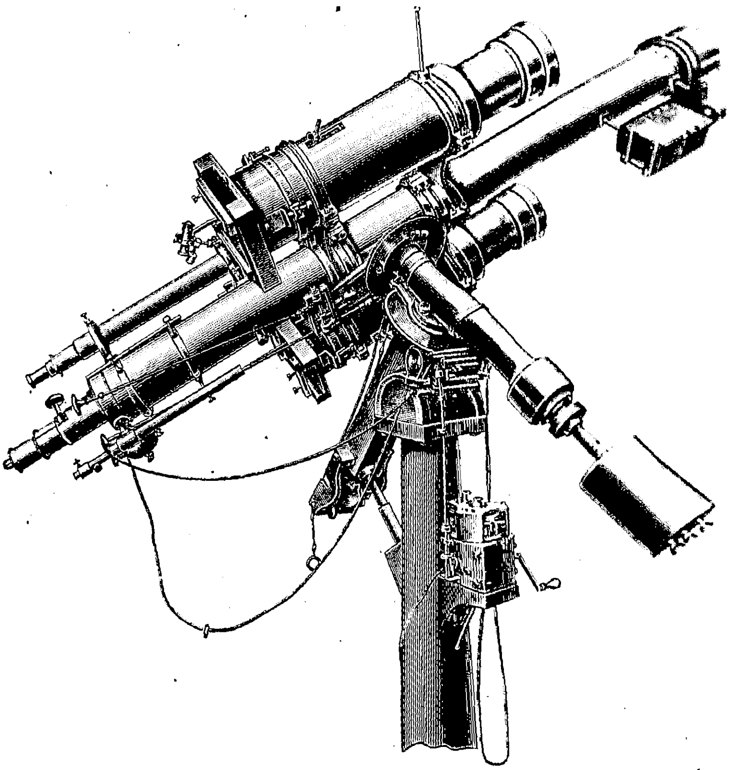


Fig. 651.

sind, andererseits hat man auch eine grössere Anzahl photographischer Kameras gleichzeitig auf einer Polaraxe angebracht, um so einen grossen Theil des Himmels zu bestreichen, indem man die optischen Axen der einzelnen Systeme auf verschiedene Parallelkreise richtet. Ein Instrument der ersteren Art hat G. Heyde in Dresden nach den Angaben von Prof. Ceraski in Moskau für das dortige Observatorium gebaut. Dasselbe ist in Fig. 652 in Gesammtansicht und in Fig. 654 in Konstruktionszeichnung dargestellt. Nach einer gütigen Mittheilung des Verfertigers, dem ich auch die Vorlagen für die Figuren verdanke, ist die Einrichtung die folgende: Die Säule a ist auf dem

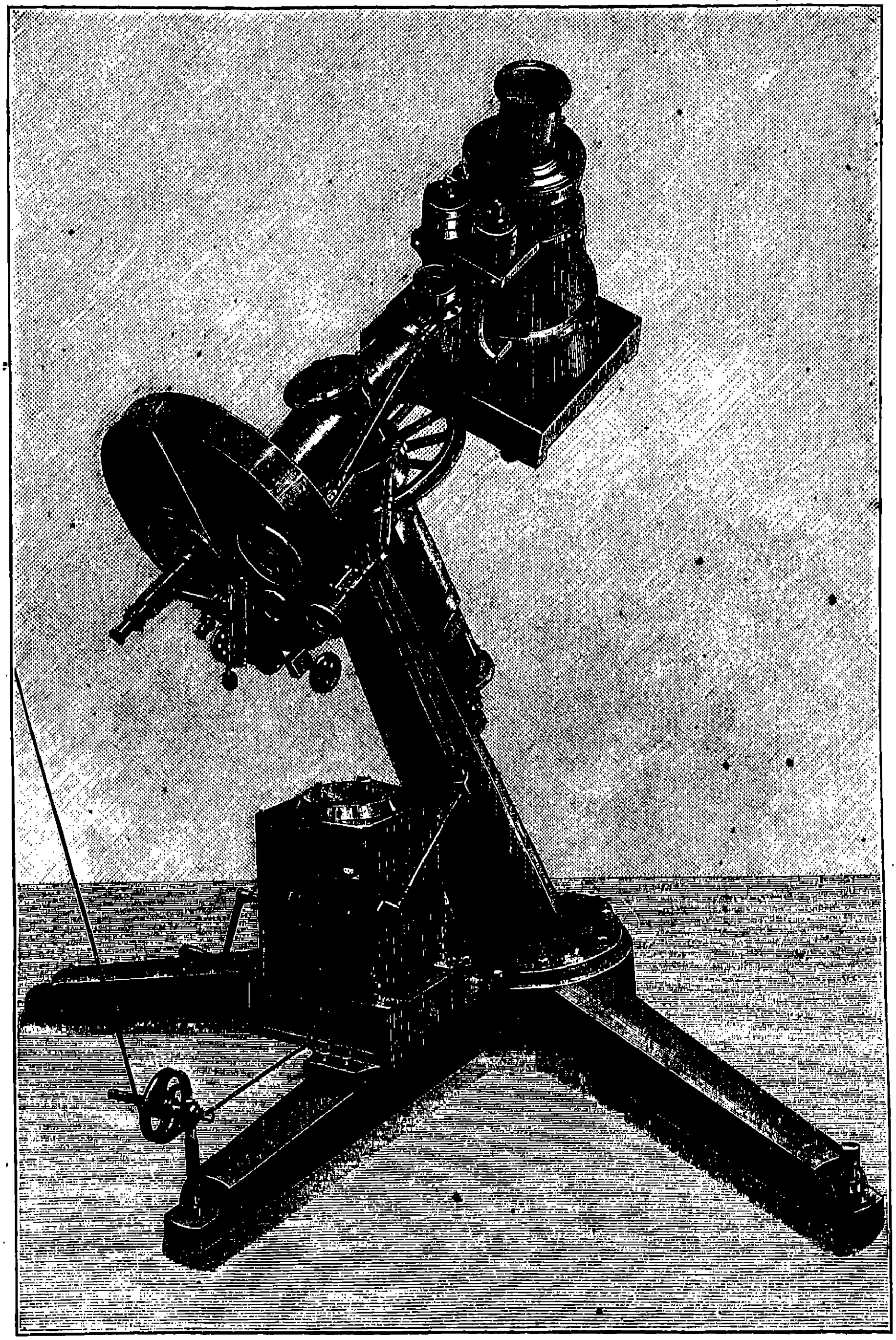


Fig. 652.

(Aus Schweiger-Lerchenfeld, Atlas d. Himmelskunde.)

weit ausgreifenden Dreifuss b unter dem Winkel der Polhöhe schief emporragend befestigt. Direkt mit zwei Flanschen auf dieselbe fest geschraubt, lagert die Büchse c für die Polaraxe, welche sich in ihr durch Polschraube f und Friktionsrolle entlastet, ohne erhebliche Reibung bewegt. Dieselbe hat an ihrem oberen Ende einen Wulst, auf welchem der Uhrkreis e schleift. An diesem ist wiederum ein Hals angedreht, der die Klemme der Polaraxe trägt. Letztere, in Form eines Sektors gearbeitet, dient zugleich zur Feineinstellung in Rektascension. Auf der Stundenaxe festgeschraubt sitzt die Büchse g für die Deklinationsaxe, in ähnlicher Form wie dieselbe bei der Repsold'schen parallaktischen Montirung angebracht ist. An der einen Seite derselben befindet sich die Wiege für die Kamera p, und das Objektiv i für das Leitfernrohr, während die andere Seite das schwere Gegengewicht für die Kamera und ausserdem den Okulartheil für das gebrochene Leitfernrohr, welches die durchbohrte Deklinationsaxe darstellt, aufnimmt. Es befindet sich nämlich in dem Würfel k ein total reflektirendes Prisma, welches die bei dem Objektiv i eintretenden Strahlen durch die durchbohrte Deklinationsaxe nach dem Okular reflektirt. Die optischen Axen dieses Objektivs und des photographischen Systems q p sind parallel.

Um der Deklinationsaxe einen möglichst leichten Gang zu geben, ist folgende Einrichtung getroffen. Sowohl in dem Konus γ als auch an der hinteren Fläche β der Deklinationsbüchse sind Höhlungen von cirka 5 mm Breite und Tiefe eingedreht. In diese Höhlungen sind gehärtete Stahlkugeln eingelegt, die nur $^1/_{10}$ mm über den Rand herausragen. Während im Konus der Büchse der konische Flansch der Axe den Halt bietet, wird gegen die hintere Fläche eine Stahlplatte angeschraubt, die fest, jedoch gleichzeitig justirbar mit der Deklinationsaxe verbunden ist. Diese Konstruktion ist von Heyde schon mehrmals angewendet worden; sie giebt den Axen einen leichten und sicheren Gang.

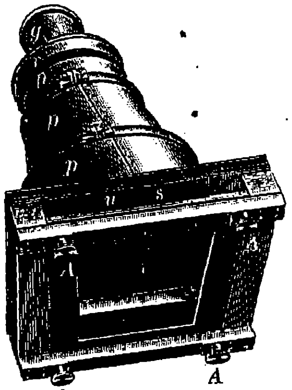


Fig. 653.

Sämmtliche Klemmen und Feinbewegungen sowohl in Deklination als in Rektascension können vom Okularende aus gehandhabt werden. Ein Handrad dient durch Vermittlung eines Gestänges und weiterer Radübertragung zur Einstellung der Deklinationsaxe mit Objektiv und photographischer Kamera, während die Klemmung und Feinbewegung dieser Axe vermittelst l an dem Gegengewichte bei n erfolgt. Ebenso ist die Klemmung in AR durch ein besonderes Handrad und Gestänge auszuführen, während die Feinbewegung in AR auch während das Uhrwerk geht, vorgenommen werden kann.

Die in Fig. 653 besonders dargestellte Kamera besteht aus einem konischen Metallrohr p, dessen vorderes Ende das Euriskop trägt. Die Ringe r, welche sich vor und zurückschrauben lassen, ermöglichen ein genaues Einstellen in den Fokus.

Am hinteren Ende des Rohrs befindet sich der Rahmen, welcher zur

Aufnahme der Kassetten dient. Dieselben werden, nachdem sie in den Schlitz s eingeschoben sind, vermittelst der 4 Schrauben t, welche auf den beweglichen Rahmen u drücken, festgeklemmt.

Das Instrument ist mit kleinen einfachen Aufsuchekreisen bei d und v versehen. Am Okularstutzen ist eine kleine bewegliche Lampe u angebracht, welche zur Feldbeleuchtung dient.

Die Uhr nach Grubb'schem System ist äusserst kräftig gebaut, um reichlichen Kraftüberschuss und dadurch gleichmässigen Gang zu erzielen.

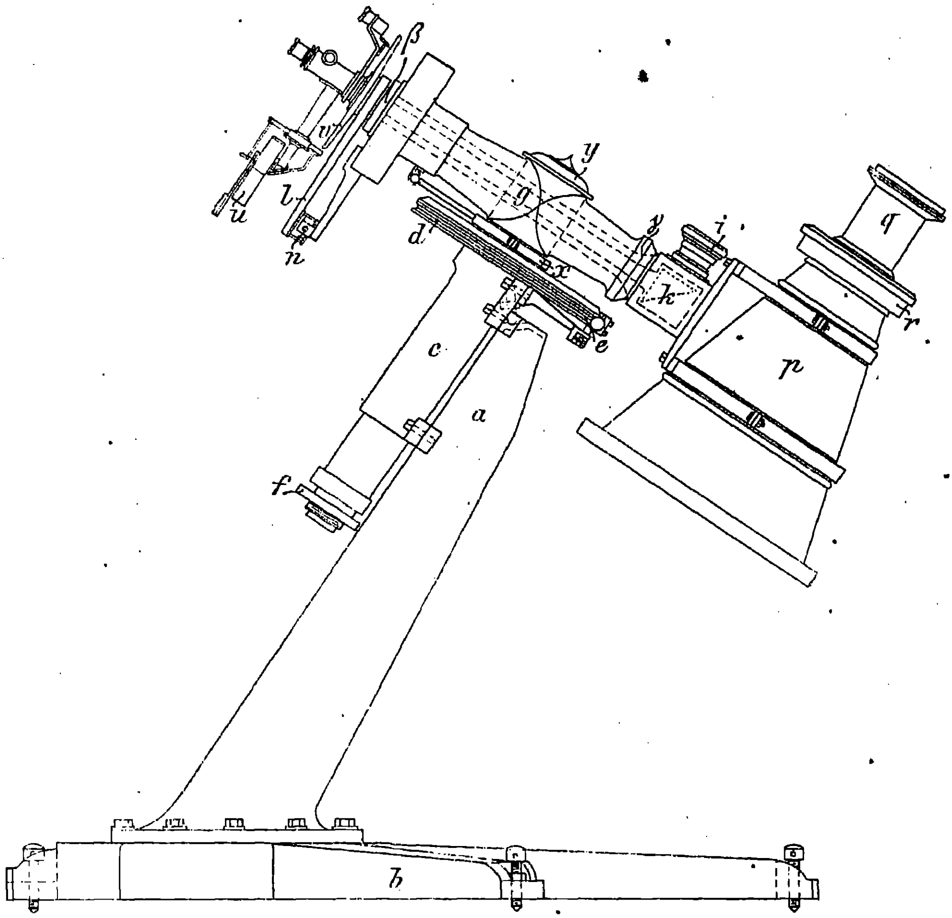


Fig. 654.

In der Mitte der Deklinationsaxe an y kann ein Stab als genaue Verlängerung der Polaxe aufgesteckt werden. Derselbe dient zur Aufnahme anderer Apparate, wenn man mehrere Aufnahmen zu gleicher Zeit machen will. Auf der Seite des Okulars ist ein Gegengewicht zum Ausbalanciren der Kassette angebracht.

b. Instrumente zur Aufnahme von Meteorbahnen.

Ein Instrument, an welchem mehrere Kameras in der oben bezeichneten Weise vereinigt sind, stellt Fig. 655 dar.[1]) Der Apparat wurde von Warner

[1]) W. L. Elkin, Astronomy and Astrophysics. Chicago 1894, S. 626.

& Swasey für die Sternwarte von New-Haven nach Angaben von Dr. Elkin gebaut.

Ein starkes Rohr von etwa 4 m Länge ruht in der Art der englischen parallaktischen Montirung mit je einem Zapfen auf einer eisernen Säule. Der Lagerbock für den unteren Zapfen ist justirbar und enthält zugleich das Uhrwerk, welches die Polaraxe dreht und zwecks ganz gleichförmiger Bewegung eine elektrische Kontroleinrichtung besitzt. Das Zuggewicht des Uhrwerks hat durch Vermittlung eines unter dem Fussboden befindlichen Schnurlaufes seinen Fallraum in der hohen nördlichen Säule. Auf einer etwa in der Mitte des Rohres dasselbe kreuzenden Deklinationsaxe befinden sich auf deren beiden Enden zwei Rahmen zur Aufnahme von je drei photographischen Kameras.

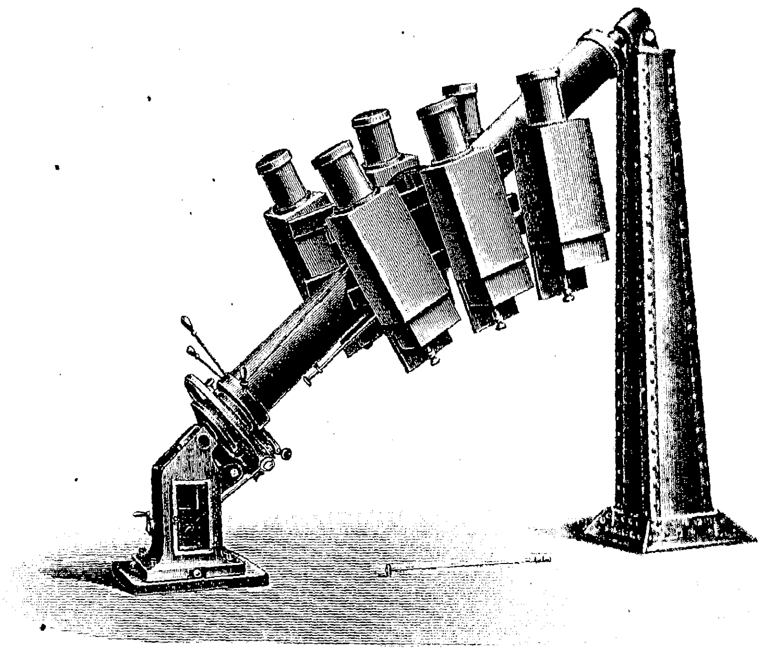


Fig. 655.

Die optischen Axen der drei ein solches System bildenden Objektive können beliebige Winkel mit einander einschliessen und ausserdem kann jeder Rahmen im Sinne der Deklination mit Hülfe eines entsprechenden Kreises eingestellt werden. Am Südende der Polaraxe befindet sich ebenfalls ein zur Einstellung des Stundenwinkels dienender und ein die Uhrbewegung vermittelnder Kreis. Es ist leicht einzusehen, dass man mit solchen Instrumenten einen ausserordentlich grossen Theil des Himmels gleichzeitig photographiren kann, was namentlich für die Aufnahmen von Meteoritenbahnen und dergleichen Phänomene von besonderem Werthe ist. Ein Instrument gleichen Charakters, aber von etwas eleganterer Ausführung und noch vielseitigerer Anwendbarkeit ist das, welches vor einiger Zeit von Herrn Archenhold für die Grunewald Sternwarte beschafft wurde.

6. Apparate zur Ausmessung der photographischen Aufnahmen.

Der Zweck der photographischen Aufnahmen cölestischer Objekte ist der, entweder die gegenseitigen Orte der Gestirne gegen einander zu bestimmen oder sich von deren Oberflächenbeschaffenheit oder Massenanordnung Kenntniss zu verschaffen. In jedem Falle ist aber eine Ausmessung der betreffenden photographischen Platten bezüglich der auf ihnen abgebildeten Objekte nöthig. Wie mehrfach erwähnt, werden zu diesem Zweck häufig besondere Liniennetze (Gitter) gleichzeitig auf der Platte mit photographirt. Immer aber ist es nöthig die Beziehung zwischen den Gitterlinien oder einem bestimmten Ausgangspunkte auf der Platte einerseits und den übrigen Bildpunkten andererseits durch Messungen herzustellen. Zu diesen Messungen hat man besondere Apparate konstruirt, welche besonders in Folge des häufigen Gebrauchs bei der photographischen Kartirung des Himmels zu einer grossen Vollkommenheit der Konstruktion gelangt sind. Im Allgemeinen kann man die Messungen nach zwei verschiedenen Principien vornehmen. Einmal geschieht es dadurch, dass man mittelst eines Mikroskops, welches sich in zwei zu einander senkrechten Führungen parallel zur Platte über dieselbe hinweg bewegen lässt, die Entfernungen der Gestirne in Form von rechtwinkligen Koordinaten misst, oder indem man in ähnlicher Weise ein Polarkoordinatensystem der Messung zu Grunde legt. Dann aber kann man auch die photographische Platte selbst gewissermaassen als Theil des Himmels betrachten und die Ausmessung in der Weise vornehmen, wie man es dort mit den Kreisen oder dem Mikrometerapparat eines Äquatoreals zu thun pflegt. Die erstere Methode ist die gebräuchlichere und liegt den Messapparaten, welche von Repsold und Anderen für die Observatorien von Potsdam, Leiden, Wien-Ottakring, Paris, Upsala u. s. w. gebaut wurden, zu Grunde, während das zweite Princip bei einem Apparate, welcher von Kapteyn zur Ausmessung der am Kap zum Zwecke einer Durchmusterung des südlichen Himmels gemachten Aufnahmen benutzt wurde, Verwendung fand.[1])

a. Die Apparate zur Ausmessung mittelst des Mikroskops.

Eine Einrichtung dieser Art von einfachster Konstruktion hat der in Potsdam zur Ausmessung der Sonnenphotographien benutzte und von Wanschaff gebaute Apparat, wie ihn die Fig. 656 darstellt.

Eine feste Grundplatte ruht auf den drei Füssen F, $F_{,}$, $F_{,,}$, dieselbe trägt nach obenhin die vier Säulen t t, $t_{,,}$ $t_{,,,}$. Von diesen sind t und $t_{,}$ durch eine [-förmige Schiene T′ T′ und $t_{,,}$ mit $t_{,,,}$ durch ein starkes massives Prisma T T mit einander verbunden. Auf dem letzteren ist eine viereckige Hülse R verschiebbar, auf deren oberer Fläche ein zweites Prisma senkrecht zu T T aufgeschraubt ist. Auf diesem bewegt sich in sicherer Führung eine Hülse, an welcher der Halter für ein Mikrometermikroskop M befestigt ist. Das freie Ende des zweiten Prismas läuft mittelst leichtbeweglicher Rollen in der [-förmigen Schiene T′ T′, um eine Durchbiegung zu vermeiden und eine leichte und sichere Bewegung zu erzielen. Es ist leicht ersichtlich, dass

1) Auch für Max Wolf in Heidelberg ist neuerdings ein ähnlicher Apparat bei Sendtner in München gebaut worden.

auf diese Weise dem Mikroskop jede Stellung innerhalb bestimmter Grenzen bei jederzeit senkrechter Richtung der Absehenslinie gegeben werden kann. Die photographische Platte wird auf einen in der erwähnten Grundplatte eingesetzten Ring gelegt, der sich in dieser mittelst eines Hebels b um eine durch sein Centrum gehende Axe drehen lässt. Die Platte ruht mit der Glasseite auf zwei Federchen h und ist gegen Verschiebungen durch Stifte gesichert. Durch diese Federn wird die Schichtseite der Platte gegen eine zweite Planglasplatte G gedrückt, welche auf ihrer Unterseite eine sehr genaue Gittertheilung von 2 zu 2 mm Strichintervall trägt. Diese Platte ist in einen Rahmen gefasst, welcher sich um eine parallel zu T T gelegene Axe S aufklappen lässt; an seiner Unterseite hat er vorne noch zwei Füsse, um stets eine zu den Führungsschienen parallele Lage einzunehmen. Durch Drehung des Ringes können die auf der photographischen Platte stets mit aufgenommenen Linien des Fadenkreuzes im Heliographen der Gitterlinien parallel gemacht werden, so dass die Resultate der Messungen auf dieses bezogen erscheinen. Die Messungen selbst werden in rein differencieller Weise durch Anschluss der Objekte auf der Sonnenoberfläche und des Randes derselben an die zunächst gelegenen Gitterlinien mittelst des Mikrometers vorgenommen. Um in beiden Koordinaten messen zu können, ist das Okularmikrometer um 90° um die optische Axe drehbar eingerichtet. Zur Orientirung bezüglich der benutzten Gitterstriche sind auch die beiden Führungsprismen des Mikroskops mit entsprechenden Theilungen versehen. Dieser Apparat ist gewissermassen der Grundtypus für die später weit komplicirteren geworden.[1]) Er hat sich für seine Zwecke ausgezeichnet bewährt. Die Fig. 657, 658 u. 659 stellen den von Repsold für die Sternwarte zu Leiden gebauten Apparat dar, und zwar die ersteren beiden im Durchschnitt und Grundriss, während die letztere einen Gesammtanblick desselben giebt.[2])

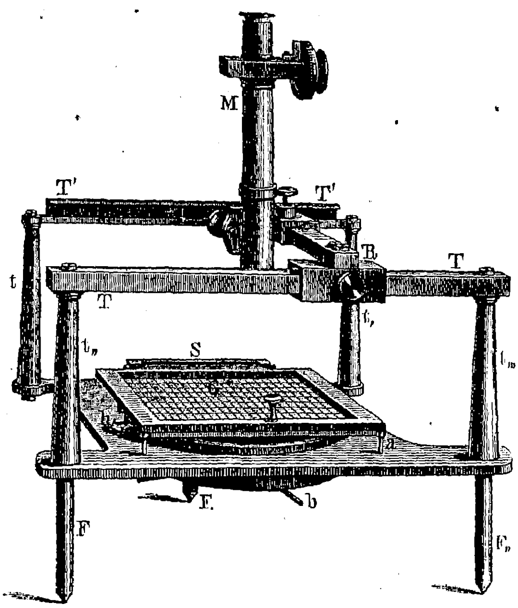


Fig. 656.
(Aus den Publ. d. astrophysikal. Observ. zu Potsdam.)

[1]) Auch zur Ausmessung der Photographien der Venusexpedition wurde ein ähnlicher Apparat verwendet, bei welchem aber schon das beim nachfolgend beschriebenen Leidener Apparat eingeführte Princip der Ablesung an einem Maassstab benutzt wurde.

[2]) Die nachfolgende Beschreibung ist dem Bull. du Comité permanent international dour l'execut. photogr. de la carte du ciel, Bd. I, S. 169 ff. im Wesentlichen entnommen (vergl. auch Scheiner, Photogr. d. Gestirne, 148).

Auf einem festen ringförmigen Unterbau mit drei Füssen ruht der eigentliche Messapparat wiederum auf vier Säulchen, die mit der Grundplatte fest verschraubt sind. Die photographische Platte A wird nun auf dem runden Rahmen B vermittelst der kleinen Klammern a und der Feder b befestigt. Dieser ist am Rande mit einem Wulst versehen, welcher als Handhabe bei der Drehung desselben um eine vertikale Axe dient. Durch die mittlere Durchbrechung C, welche der lichten Weite des Grundringes entspricht, erfolgt die Beleuchtung der Platte von unten. Die Drehung der Ringplatte B erfolgt in einer Führung bei D; die Grösse der Drehung kann vermittelst zweier diametraler Mikroskope auf dem Kreise E, von denen eines in Fig. 658 bei F sichtbar ist, gemessen werden, da diese Mikroskope fest mit einem den

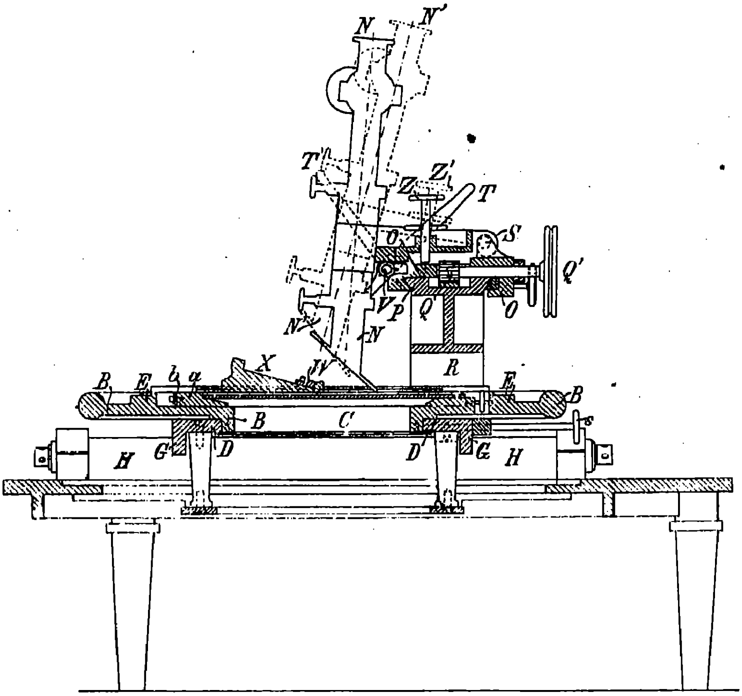


Fig. 657.

ganzen Oberbau überspannenden Bügel verbunden sind, welcher seinerseits an beiden Enden auf der Hauptplatte des Apparates sicher ruht. Der Rahmen G bildet mit der Führung D für den Ring B ein Stück und ruht einerseits mittelst zweier Gleitbacken c, d auf dem horizontal gelagerten Cylinder H, während er andererseits auf einer Schiene J gleitet, welche genau parallel zu H abgeschliffen ist. Die Enden derselben treten in Fig. 658 unter dem Ringe B hervor. Der Cylinder H lässt sich in seinen beiden Lagern etwas der Länge nach verschieben und wird dort durch zwei resp. ein Schräubchen festgehalten. Dem Rahmen G wird die Bewegung durch das Trieb K, welches in die mit ihm verbundene Zahnstange L eingreift, mitgetheilt. Die Grösse dieser Verschiebung kann an der Skala M

abgelesen werden. Auf diese Weise wird die eine parallel zu dieser Skala gelegene Koordinate eines durch das Mikroskop N eingestellten Gestirnes vorläufig genähert bestimmt. Die Ablesung an dieser Skala kann auch, um das Auge nicht vom Mikroskope N entfernen zu müssen, durch einen einfachen Hebel Y, welcher gegen die Unterseite der Skala, die mit einer Reliefbezifferung versehen ist, einen Papierstreifen drückt, registrirt werden. Zur Messung der dazu senkrechten Koordinate lässt sich aber das Mikroskop auf dem oberen sehr genau prismatisch abgeschliffenen Theile P des Bügels ebenfalls mittelst eines Triebes Q und einer in einer Höhlung des Prismas gelegenen Zahnstange sicher hin und her bewegen. Die Hülse, in welcher

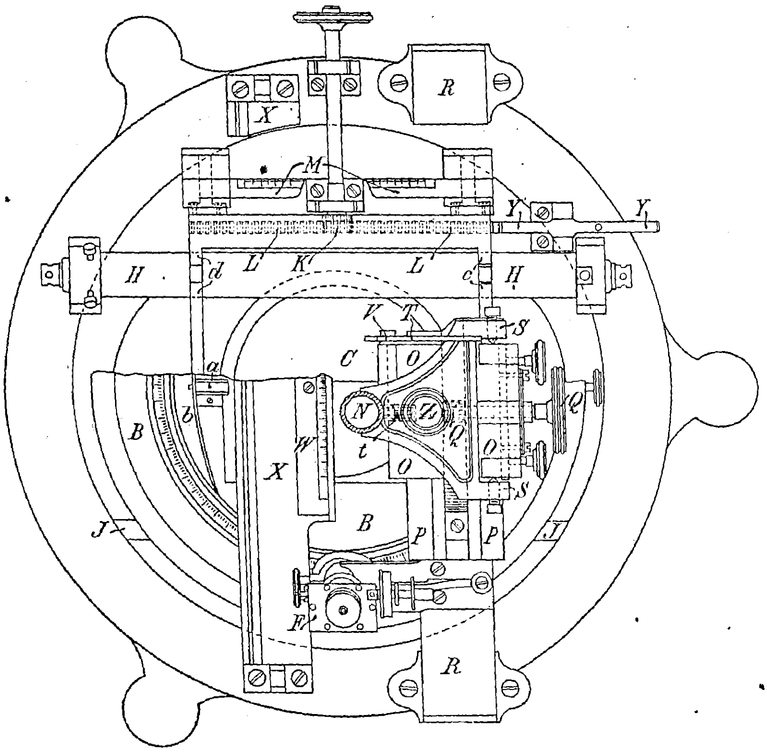


Fig. 658.

das Mikroskop befestigt ist, sitzt aber nicht direkt an dem Schlitten O, sondern an einem mit diesem durch Spitzenbewegung bei S verbundenen Zwischenstücke, welches den Zweck hat, die optische Axe des Mikroskops ein wenig um die Drehaxe SS zu kippen. Dadurch kann bewirkt werden, dass das Mikroskop einmal senkrecht zur photographischen Platte gerichtet und so zur Einstellung eines Gestirnes mittelst des Mikrometerwerkes dienen kann, und dass es zweitens nach der Drehung, welche mittelst des Hebels T und Excenters bei V erfolgt, die in Fig. 657 punktirt angedeutete Lage N_1 einnimmt und auf den sehr genau getheilten Maassstab W gerichtet werden kann. Dieser ruht auf einem zweiten, den ganzen Obertheil überspannenden Bügel X, welcher mit der Grundplatte fest verbunden ist.

Auf diese Weise wird es möglich, einen auf der Platte eingestellten Stern durch Vermittlung des Mikrometers direkt auf den Maassstab zu beziehen und so auch ohne Benutzung eines Gitters die Koordinaten desselben in Bezug auf einen bestimmten Ausgangspunkt festzulegen. Andererseits ist aber natürlich auch mit Übergehung der Skala eine Differenzmessung mittelst Gitters durch diesen Apparat möglich. Nachdem die eine Koordinate genau gemessen und die andere genähert an der Skala M bestimmt worden ist, wird die photographische Platte mittelst des Rahmens B um genau 90° gedreht und auch die Messung der anderen Koordinate in der eben beschriebenen Weise ausgeführt. Man erhält so für jede derselben eine genäherte und eine genaue Messung, wodurch leichter ein Irrthum vermieden wird. Auch wird

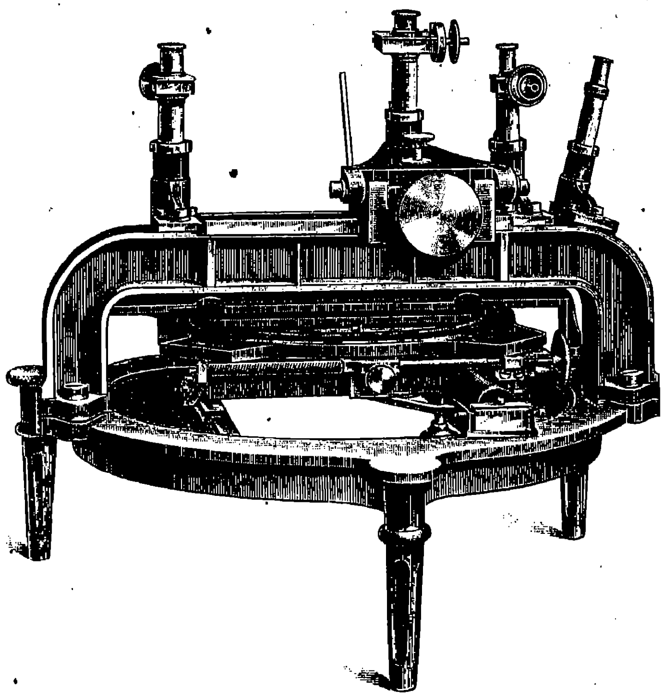


Fig. 659.

nicht so leicht ein Stern übergangen, wenn man bei der Messung immer nur in einer Richtung fort zu schreiten braucht. Einen weiteren Vorzug dieser getrennten Messung findet Prof. Bakhuyzen noch darin, dass der Winkel, den die beiden Koordinatenrichtungen mit einander machen, sicherer 90° gemacht werden kann, als es bei den Gittern der Fall sein würde. Weiterhin ist es auch keine Frage, dass der Apparat einfacher hergestellt werden kann, wenn eine genaue Führung nur in einer Richtung verlangt wird, da diese namentlich bei der Bezugnahme der Messungen auf eine Skala mit ziemlichen Schwierigkeiten verknüpft ist; selbst wenn man im Mikroskop zwei zu einander senkrechte Fadensysteme anbringen wollte. Auch die Vermeidung dieser letzteren Komplikationen kann als ein Vortheil des beschriebenen Apparates angesehen werden.

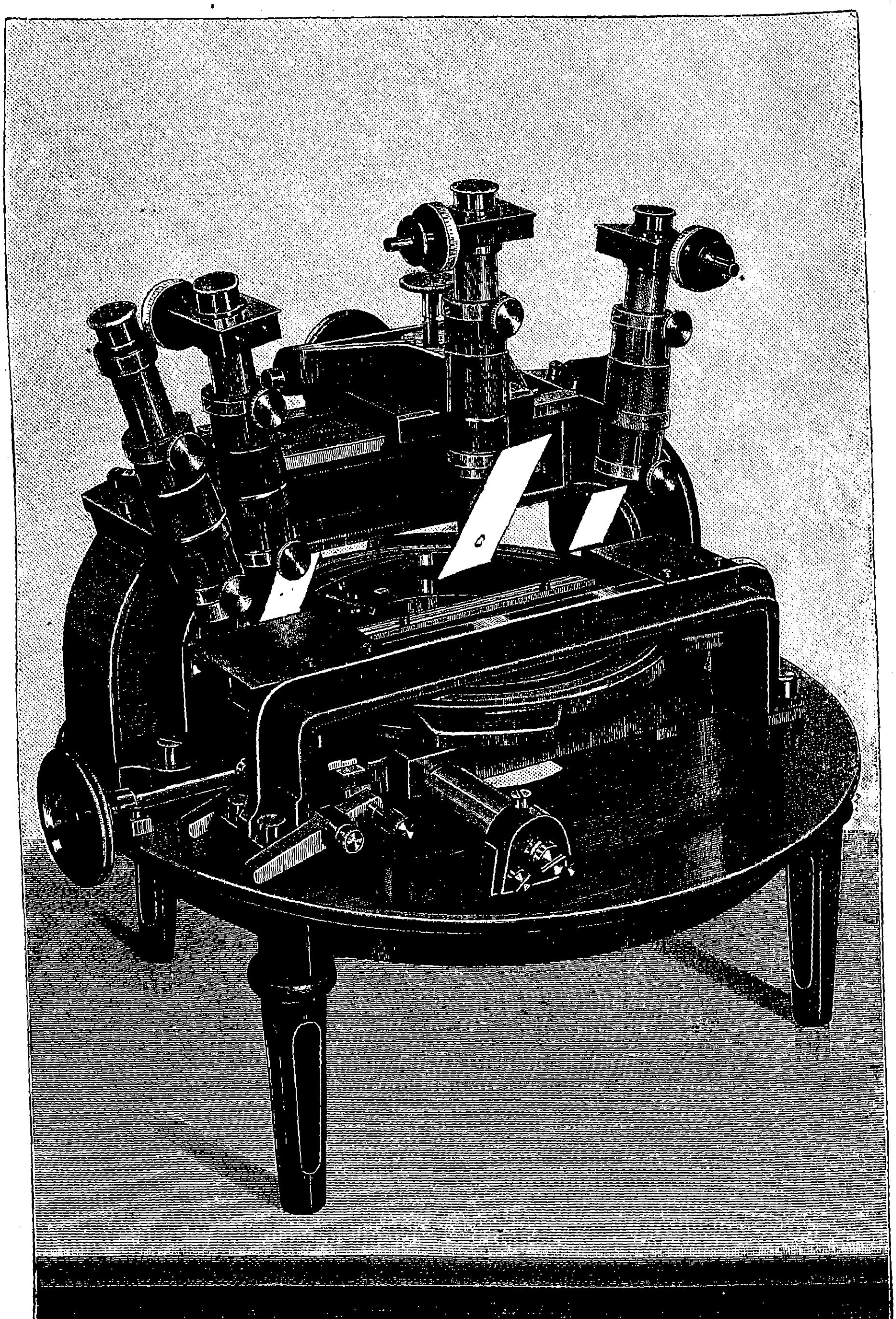


Fig. 660.

(Aus Schweiger-Lerchenfeld, Atlas d. Himmelskunde.)

Einen Apparat, welcher dem Leidener sehr ähnlich gebaut ist und sich nur in wenigen Punkten von diesem unterscheidet, hat Repsold unter Anderem auch für die v. Kuffner'sche Sternwarte in Wien ausgeführt.[1]) Derselbe ist in Fig. 660 dargestellt, da diese Figur zugleich als eine Ergänzung der vorhergehenden dienen kann, welche den Leidener Apparat in Gesammtansicht zur Anschauung bringt.

Es ist keine Frage, dass durch Zwischenschaltung des Maassstabes in die Messungen eine gewisse Komplikation hineingebracht wird, welcher allerdings die eben genannten Vorzüge zum Theil entgegen stehen. Hat man aber ein für allemal ein genau ausgemessenes Gitter und wird dieses den Platten in der auf Seite 664 geschilderten Weise aufkopirt, so kann man durch Einführung der rein differentiellen Messungen, also mit ausschliesslicher Bezugnahme auf die Gitterstriche, sowohl der Messungsarbeit (inklusive der Rechnung), als auch dem Apparate die grösste Einfachheit wahren.

Ein nach diesen Gesichtspunkten gebauter Messapparat ist der gleichfalls von der Repsold'schen Werkstätte für das Potsdamer Observatorium ausgeführte, welcher dort zur Ausmessung der für die photographische Himmelskarte gemachten Aufnahmen dient. Diesen Apparat zeigt Fig. 661. Die Beschreibung, welche Prof. Scheiner davon giebt, lautet in seinem Handbuch der Photographie der Gestirne, S. 151, etwa wie folgt: Auf drei starken Füssen ruht die sehr massiv gehaltene Grundplatte U, welche in ihrer Mitte eine entsprechende Bohrung besitzt, um die darüber liegende photographische Platte von unten beleuchten zu können. Auf dieser Platte erheben sich als Fortsetzung der Füsse drei Säulen S, S′ u. S″, welche oben durch einen Dreiarmtheil verbunden werden. Die Mitte dieses Stückes wird durch eine grössere Scheibe gebildet, durch welche das Mikrometermikroskop senkrecht hindurch geht. Letzteres ist der bequemeren Stellung des Beobachters wegen ein gebrochenes, dessen beide Rohrtheile sich im Prisma M unter einem Winkel von 40° treffen. Der obere Theil trägt das Doppelmikrometer O, in welchem zwei zu einander senkrecht stehende Mikrometerfädenpaare bewegt werden können. Durch diese Einrichtung wird der Kreis am Plattenapparat unnöthig und dadurch dieser Theil einfacher gestaltet, als es bei den oben beschriebenen Apparaten der Fall ist. Damit geht allerdings die Möglichkeit verloren, mit diesem Apparat auch Positionswinkel und Distanz zwischen den Gestirnen messen zu können, welche die früher beschriebenen Apparate bieten, während bei der Vorzüglichkeit der Repsold'schen Mikrometerwerke ein Bedenken gegen das doppelte Mikrometer nicht vorliegen dürfte.

Das Mikroskop wird dicht unter M von einer Scheibe umfasst, welche auf dem Mittelstück des Dreiarmes ruht und dort mittelst zweier Kopfschrauben festgehalten wird. Diese gehen durch etwas erweiterte Löcher, um eine kleine

---

[1]) Die Registrirung der Ablesung der Skala ist etwas anders eingerichtet und die Schiene J ist anders angeordnet, da der Oberbau dichter an die Grundplatte herangerückt ist, auch die Ringe zur Aufnahme der photographischen Platte sind äusserlich anders gestaltet u. s. w. Eine sehr detaillirte Beschreibung dieses Messapparates findet sich mit einer erläuternden perspektivisch-schematischen Zeichnung in den Publ. d. v. Kuffner'schen Sternwarte, Bd. II, S. 6 ff., Tafel III.

seitliche Korrektion des Mikroskops zu gestatten, dem eine anderweitige Korrektionsbewegung nicht ertheilt werden kann. Die Mikrometerschrauben sind so gewählt, dass einem Gitterintervall von 5 mm 13 Revolutionen entsprechen. Die photographische Platte wird durch zwei Klammern K gegen eine Feder bei F gedrückt und so sehr nahe in derselben Weise auf dem Rahmen R befestigt, wie sie auch in der Kassette während der Exposition aufruht. Der in der Mitte durchbohrte Rahmen R gleitet in ähnlicher Weise, wie es oben beschrieben wurde, auf dem Cylinder C und der Schiene B und wird durch Trieb- und Zahnstange bei Z bewegt. Cylinder C und Schiene B sind ihrerseits wieder auf dem tiefer liegenden Rahmen r befestigt, dem auf dem Cylinder C′ und der Schiene B′ eine zu C senkrechte Bewegung in gleicher

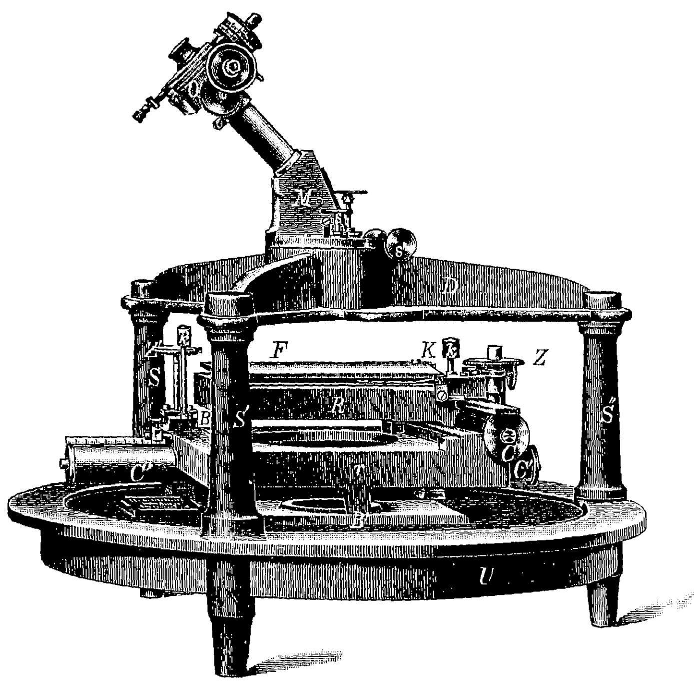


Fig. 661.

Weise ertheilt werden kann. Die Klemmschrauben kk dienen zur Fixirung der beiden Rahmen gegen die Gleitcylinder und damit gegen das Mikroskop. Es ist klar, dass auf diese Weise bei genügendem Spielraum jede Stelle der Platte unter das Mikroskop gebracht werden kann. Geeignete Theilungen in Verbindung mit den Gleitcylindern machen eine leichte Identificirung der Gitterlinien möglich, an welche mittelst des Mikrometers der Anschluss des Gestirns ausgeführt wird.

Bei Vermeidung aller nicht direkt nöthigen Konstruktionstheile zeichnet sich dieser Apparat besonders wegen seiner kompendiösen Form und durch grosse Stabilität aus. Es ist allerdings eine sehr sorgfältige Ausführung bezüglich der normalen Stellung der Gleitcylinder nöthig, wenn sie hier auch nicht in dem Maasse die Messung beeinflusst, als bei den Maassstabapparaten.

Behufs einer Messung wird bei dieser Einrichtung die photographische Platte vermittelst der korrigirbaren Klammern so justirt, dass in der einen Bewegungsrichtung beim Durchschieben der Platte ein Gitterstrich genau im Fadenkreuze bleibt. Da die Abweichung der beiden Cylinder von der Senkrechtstellung nur eine ganz unmerkliche sein kann, und da andererseits nur Messungen über die kurzen Distanzen von 5 mm vorkommen, so werden durch dieses Verfahren die Gitterstriche mit genügender Annäherung parallel zu beiden Bewegungsrichtungen gestellt. Nunmehr wird das Mikrometer so justirt, dass eines der Fadenpaare parallel zur Strichrichtung steht. Wenn man nicht darauf reflektirt, die Hundertstel der Bogensekunde exakt zu erhalten, sind damit zugleich auch die beiden Mikrometerbewegungen berichtigt.

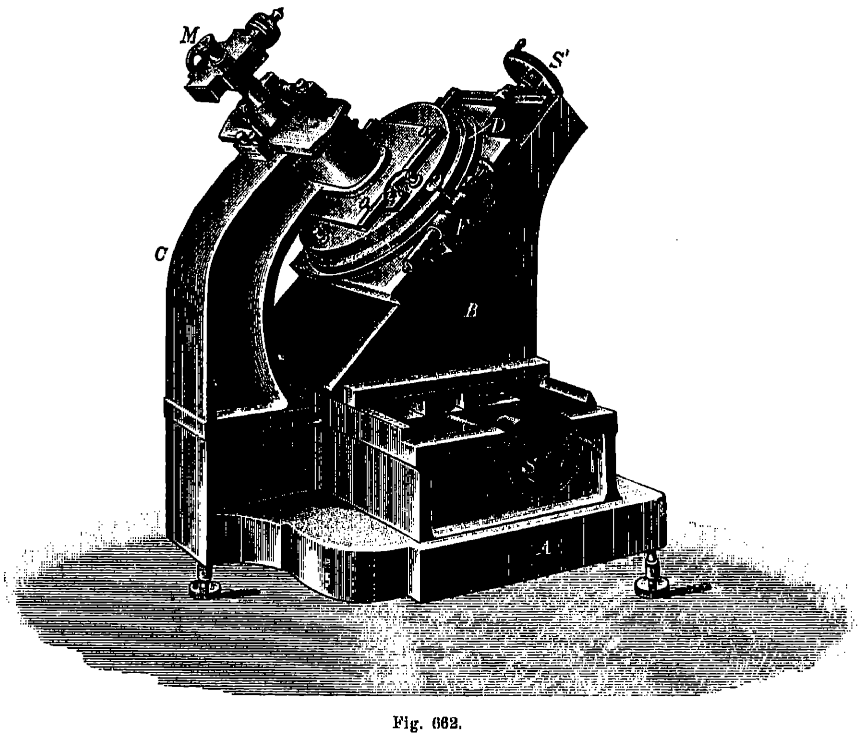


Fig. 662.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1895.)

Das Einstellen auf die Gitterstriche und auf die Sterne geschieht in beiden Koordinaten unter Verwendung beider Hände gleichzeitig, wodurch eine bedeutende Zeitersparniss und Sicherheit in der Identificirung der zusammengehörigen Koordinaten erzielt wird.

Auf ganz gleichem Princip wie der eben beschriebene Apparat beruht ein von Gautier in Paris für die dortige Sternwarte gebauter Apparat, der nur in seiner äusseren Form erheblich von den bisher beschriebenen abweicht. Die Fig. 662 zeigt die Einrichtung desselben.[1]) Das schwere Untergestell A trägt zwei Schienen, auf welchen sich der pultförmige Kasten B durch

[1]) Jahresbericht des Pariser Observ. von M. F. Tisserand 1893. Ref. von Knopf, Zschr. f. Instrkde. 1895, S. 30.

eine Schraube S von 18 cm Länge und 5 mm Ganghöhe verschieben lässt. Mittelst einer gleichen Schraube S′ wird der zur Aufnahme der auszumessenden Platte dienende, schief liegende Rahmen längs zweier Führungsschienen in der Höhe verstellt. Endlich kann dem Rahmen noch eine dritte Bewegung, eine Drehung mittelst der Kreisplatte D, ertheilt werden, damit die auf der Platte im Abstand von 5 zu 5 mm vorhandenen Gitterstriche parallel den Doppelfäden des von C getragenen Mikroskops M gestellt werden können. Die genaue Justirung erfolgt durch die Schraube F. Die angewandte Messungsmethode ist die differentielle. Sowohl auf der Führungsschiene von A wie auf der von B sind Theilungen angebracht, um die Anzahl der Schraubenwindungen ablesen und die benutzten Gitterstriche identificiren zu können. Eine Umdrehung der Mikrometerschraube entspricht ungefähr einer Bogenminute, und da die Schraubentrommeln in 100 Theile, deren Zehntel noch geschätzt werden können, getheilt sind, so beträgt die Genauigkeit der Ablesung 0″,06.

Bei der Ausmessung der Durchmesser von Planeten und der Lagenbestimmungen gewisser markanter Punkte auf ihnen hat sich BIGOURDAN im Mikrometer statt der gebräuchlichen Kokon- oder Spinnfäden mit Erfolg der Glasfäden bedient. Der Vortheil soll in ihrer geringeren Dicke und namentlich in ihrer Durchsichtigkeit begründet sein.

b. Der Messapparat nach KAPTEYN.

Die zweite, von KAPTEYN vorgeschlagene und benutzte Art der Messapparate mag durch den von ihm im Bull. du Comité perm. pour l'exécut. de la carte du ciel I, S. 377 beschriebenen Apparat näher erläutert werden. Das Princip ist das, dass man sich das Auge im Brennpunkt des photographischen Objektivs gelegen denkt; stellt man dann die photographische Platte in einer Entfernung, vom Auge auf, welche gleich der Brennweite ist, so wird nur noch eine Drehung der ersteren um die Verbindungslinie Auge—Plattenmitte nöthig sein, um die Platte dem auf ihr dargestellten Theile des Himmels entsprechend zu orientiren. Wird danach ein Fernrohr so aufgestellt, dass sich die Mitte seines Objektivs an der Stelle des Auges befindet, wird ferner seiner optischen Axe eine der Einrichtung eines Äquatoreals oder Universalinstruments entsprechende Bewegungsmöglichkeit gegeben und zwar in der Weise, dass sich die Axen in eben diesem Objektivmittelpunkte schneiden (vergl. die Villarceau'sche Montirung), so kann man offenbar mittelst des Fernrohrs die Messungen auf der transparent erscheinenden Platte ebenso vornehmen als am Himmel selbst. Prof. SCHEINER giebt von dem Apparat und dem bei der Messung einzuschlagenden Verfahren, die folgende Beschreibung, welcher ich hier im Wesentlichen folgen möchte.[1])

Das Instrument ist in azimuthalem Sinne auf einer starken Säule M (vergl. die schematischen Fig. 663, 664 u. 665) montirt, in welcher eine Vertikalaxe L L ihre Führung hat; diese trägt die starke Scheibe J J, welche wiederum dem eigentlichen Messapparat zur Grundlage dient, der durch das Ge-

[1]) Scheiner, Photogr. d. Gestirne, S. 136 ff.

wicht K ausbalancirt wird. In der wirklichen Ausführung, Fig. 666, ist diese Platte durch ein Prisma ersetzt, welches direkt das Axenlager für die Horizontalaxe BB trägt. Die beiden Lager NN dieser Axe sind so eingerichtet, dass eine Längsverschiebung von B nicht vorkommen kann, da sonst das Objektiv des gebrochenen Fernrohres H, Fig. 664, aus dem Durchschnittspunkt von LL und BB rücken würde. Diese Befestigung wird durch eine Feder bewirkt, welche die Axe B gegen einen entsprechenden Anschlag drückt. Diese

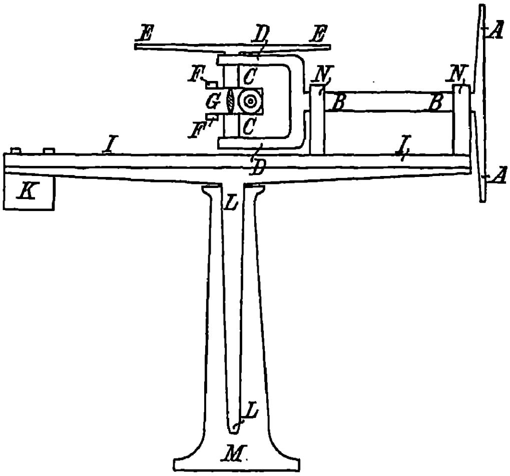


Fig. 663.

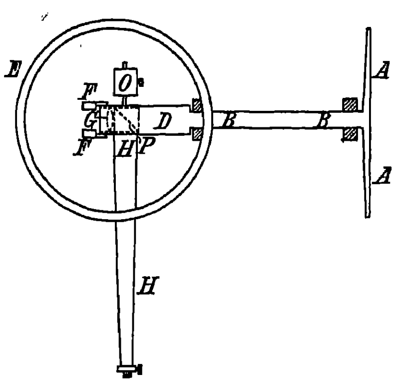


Fig. 664.

(Nach Scheiner, Photogr. d. Gestirne.)

Axe trägt an einem Ende den Kreis AA, welcher durch zwei Mikroskope abgelesen werden kann; auf der anderen Seite endet sie in eine Gabel DD, zwischen deren Armen die zweite Instrumentalaxe CC gelagert ist. Diese wiederum nimmt in ihrer Mitte das gebrochene Fernrohr H auf und zwar so, dass das dicht vor dem Prisma P liegende Objektiv G mit seinem optischen Mittelpunkt genau in die Durchschnittslinie von BB und CC zu liegen kommt. Zur Äquilibrirung des dadurch ganz seitlich gelegenen Fernrohrs dienen die beiden Gegengewichte F und O. Die Drehung der Axe C wird an dem fest mit ihr verbundenen Kreise E abgelesen. Es können also die Winkel, unter welchen die auf der Platte befindlichen Objekte von G aus erscheinen, mittelst der Kreise und dem Fernrohr H entweder unmittelbar oder auch mit Bezug auf etwa der Platte aufkopirte Gitter mikrometrisch gemessen werden, zu welchem Zwecke das Fernrohr nur mit einem einfachen Mikrometer versehen zu sein braucht, wie es an Äquatorealen angewendet zu werden pflegt. Die Platte wird auf einem besonderen Stative befestigt, welches, vom Objektive G um seine Brennweite entfernt, fest aufgestellt ist. Die

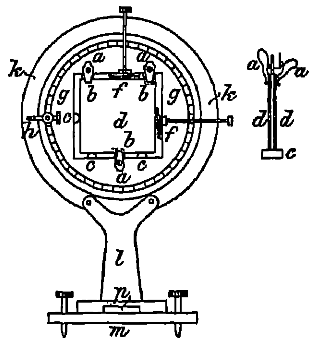


Fig. 665.
(Nach Scheiner, Photogr. d. Gestirne.

Fig. 665 lässt die Einzelheiten der von KAPTEYN getroffenen Einrichtung erkennen. Da die Platte ausser ihrer Orientirung im Positionswinkel auch eine Senkrechtstellung zur Linie Plattenmitte—Objektivmitte gestatten muss, sind an diesem Stativ verschiedene Korrektionseinrichtungen vorgesehen, welche auch ausserdem noch die leichte Vertauschung der Platten ermöglichen sollen. In Fig. 665 ist d die photographische Platte; sie ruht auf drei Cylindern c von Platiniridium, gegen welche sie durch die Federn f, f gedrückt wird. Diese Cylinder müssen genau den drei Punkten entsprechen, gegen welche die Platte in der Kassette bei der Aufnahme gelagert ist. Auf der Rückseite ist die Platte durch die federnden Halter a gegen drei kleine Messingzungen b angedrückt, gegen welche von der anderen Seite her eventuell eine zweite Platte angelegt werden kann, welche auf denselben Cylindern c

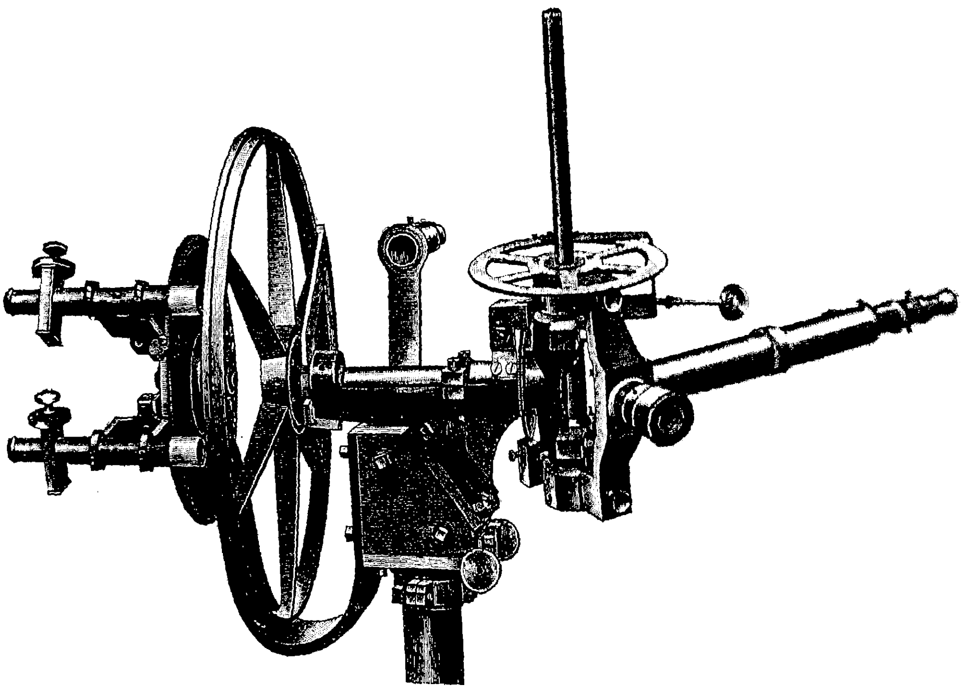


Fig. 666.
(Aus Scheiner, Photogr. d. Gestirne.)

ruht. Von den Federn wird die zweite Platte nicht gehalten, so dass sie im horizontalen Sinne gegen die erste Platte verschoben werden kann. Die Cylinder c c sind auf dem Theilkreise g etwas verstellbar angebracht, so dass der Plattenmittelpunkt genau in den Drehungspunkt des Kreises gelegt werden kann. Der Theilkreis wird durch zwei Mikroskope (in der Fig. 665 ist nur eines derselben h angedeutet) bis auf eine Bogensekunde abgelesen. Der feste Kreis k, in welchem sich g dreht, ist an dem Träger l angebracht, der durch Fussschrauben und Niveau vertikal gestellt werden kann.

Wie schon oben bemerkt, entspricht Fig. 666 nicht genau dem Apparate, welchem die schematischen Zeichnungen angehören, sondern dem nach gleichen

Principien gebauten, von KAPTEYN für seine Ausmessungen der Kap-Photographien benutzten, sie lässt aber die technische Ausführung der Einzelheiten recht gut erkennen, wobei nur zu bemerken ist, dass hier die der Axe CC, Fig. 663, entsprechende Axe an die Stelle der in den Fig. 663 u. 664 gezeichneten Linse im Brennpunkt des photographischen Objektivs zu denken ist.

Auch bezüglich der zweckmässigsten Anordnung des Vorgangs bei der Messung selbst, kann ich hier nur der Darstellung Scheiners folgen. Es heisst dort:

„Es wird angenommen, dass der Mechaniker die Bedingung erfüllt hat, dass sich die vier in Frage kommenden Axen (optische Axe, Stundenaxe, Deklinationsaxe und Vertikalaxe) mit genügender Genauigkeit im Centrum der Bewegung schneiden. Die Kollimationsfehler und der Indexfehler des Deklinationskreises werden auf die übliche Weise möglichst klein gemacht, und der feste Faden des Mikrometers wird möglichst senkrecht zur Deklinationsaxe gerichtet. Darauf wird die Platte nach Möglichkeit senkrecht zur Verbindungslinie vom Mittelpunkt der Platte nach dem Mittelpunkt der Bewegung gestellt und diese Distanz gleich der Brennweite des photographischen Fernrohrs gemacht, mit welchem die Aufnahme erhalten worden ist. Ist nun D die Deklination des Mittelpunktes der Platte für das mittlere Äquinoktium, für welches man die Positionen der Sterne haben will, so stelle man den Deklinationskreis hierauf ein und klemme die Deklinationsaxe. Alsdann drehe man das Instrument um die Stundenaxe und um die Vertikalaxe, bis der Mittelpunkt der Platte (der Schnittpunkt der mittleren Gitterstriche) mit der Mitte des Gesichtsfeldes zusammenfällt. Darauf wird die Vertikalaxe geklemmt. Es ist bequem für die späteren Rechnungen, besonders aber auch für die Identificirung der Sterne, wenn man den Stundenkreis jedesmal so justirt, dass die Ablesung bis auf 1″ mit der Rektascension der Mitte für das betreffende Äquinoktium identisch ist.

Man wähle nunmehr auf der Platte möglichst von einander entfernte Sterne aus, welche in einer Koordinate, z. B. der Rektascension, nahe übereinstimmen. Durch Drehung der Platte im Positionswinkel kann man leicht erreichen, dass die beobachtete Deklinationsdifferenz mit der Differenz für das mittlere Äquinoktium identisch ist, wodurch die Aufnahme genähert für dasselbe Äquinoktium orientirt ist. Man kann aber denselben Zweck viel einfacher erreichen, wenn vorher Sorge dafür getragen wird, dass die Gitterstriche sehr nahe auf den scheinbaren Parallel justirt sind.

Beim Messen selbst wird dann sowohl auf die Sterne eingestellt, als auch auf die Durchschnittspunkte der Gitterstriche, und dies kann in zweierlei Weise erfolgen.

1. Indem man alle Pointirungen in der Mitte des Gesichtsfeldes macht — man braucht also nur ein festes Fadenkreuz — und dann Stunden- und Deklinationskreis abliest.

2. Indem man bei einer bestimmten Einstellung des Deklinationskreises die Deklinationsaxe klemmt und mit einem Okularmikrometer in Deklination misst, wobei man die Rektascensionen am Kreise abliest.“

Es würde, wie schon bemerkt, den beabsichtigten Umfang dieses Kapitels

weit übersteigen, wenn noch näher auf die Reduktionsmethoden der durch die verschiedenen Messungsverfahren erlangten Resultate eingegangen werden sollte, da namentlich die zwar nicht schwierige, wohl aber etwas umständliche Überführung in absolute Koordinaten langwierige Entwicklungen nöthig machen würde. Es muss hier deshalb auf das schon mehrfach angeführte Handbuch von J. Scheiner verwiesen werden, wo mit dem sachkundigen Urtheile des erfahrenen Fachmannes die betreffenden Punkte ausführlich entwickelt werden.

Dreizehntes Kapitel.

Die Photometer.

Die Photometer sind Instrumente, welche die Helligkeit der Gestirne mit bestimmten konstanten Lichtquellen irdischen oder gleichfalls cölestischen Ursprungs zu vergleichen gestatten, um so ein Urtheil über die Helligkeit der Gestirne überhaupt oder über Veränderung der Leuchtkraft einzelner nach Quantität und Qualität zu erhalten. Es giebt eine grosse Anzahl solcher Instrumente; viele davon haben sich aber dann im Laufe der Zeit nicht bewährt oder sind durch bequemere und praktischere Einrichtungen ersetzt worden.

Die jetzt gebräuchlichen photometrischen Apparate scheiden sich ihrem Wesen nach in einige wenige Hauptgruppen:

1. Solche, bei denen die Gleichheit zweier Lichtwirkungen (Punkte, Flächen) beurtheilt werden muss und bei denen die eigentliche Messung durch die Einrichtungen geschieht, welche diese Gleichheit durch Blenden, Polarisation u. s. w. herbeizuführen vermögen.

2. Solche, bei denen der Moment des Verschwindens, d. h. des Auslöschens eines Lichteindrucks, durch einen Keil, Blenden u. s. w. hervorgebracht, beobachtet wird und dann ebenfalls durch die Stellung etc. des zum Auslöschen verwendeten Instrumententheiles die Messung erfolgt.

Weiterhin sind aber auch Apparate gebaut worden, mit denen eine gewisse selektive Vergleichung der Beschaffenheit der einzelnen Lichtquellen vorgenommen werden kann, welche also Auskunft geben sollen über die den Gesammthelligkeitseindruck hervorbringenden Theile der Gesammtlichtquantität (Farben, Strahlen verschiedener Wellenlänge). Da es zu diesem Zwecke nöthig ist, die Gesammtlichtmenge erst in ihre einzelnen Theile zu zerlegen, so müssen mit dem hierzu benutzten Photometern, die im Allgemeinen wieder verschiedener Anordnung sein können, auch Spektral-Apparate verbunden sein, durch die es möglich wird, die einer bestimmten Wellenlänge (oder besser zwischen bestimmten Grenzen solcher gelegene) zugehörende Lichtquantität abzuscheiden und der Messung allein zugänglich zu machen. Dies sind die Spektralphotometer. (Vergl. darüber auch Abschnitt Spektralanalytische Apparate.) Die Intensität des Lichtes d. h. die Grösse der von einer Lichtquelle ausgesandten Energiemenge kann nicht nur durch das Auge, also auf physiologischem Wege, als das was wir kurzweg als Lichtwirkung (Leuchtkraft) bezeichnen, wahrgenommen resp. beurtheilt werden, sondern auch durch die thermische und die dem Strahlungsvermögen ent-

sprechende Wirkung. Hierher gehören die Bolometer und die Aktinometer. Diese Apparate haben für die Beobachtung der Sterne nur geringe Bedeutung, wohl aber für Sonne und Mond.

Als weiteres Mittel der Vergleichung der ausgesandten Lichtenergie kann auch die chemische (photographische) Wirkung der Messung unterzogen werden. (Dahin gehört die Einwirkung auf bestimmte Gasgemische, auf die photographische Platte, lichtempfindliches Papier, Selen u. s. w.).

Es kann hier nicht die Absicht sein, eine vollständige Aufzählung und Beschreibung aller bisher bekannt gewordenen photometrischen Apparate zu geben, da dieses soweit überhaupt möglich den speciellen Werken über dieses Gebiet der Physik und Astronomie zufallen dürfte, es sollen daher hier nur diejenigen Instrumente behandelt werden, mit welchen wirkliche astronomische Messungen ausgeführt wurden oder die bezüglich ihrer Grundlagen principiell von Wichtigkeit sind.[1])

1. Vergleichungs-Photometer.

Eine grössere Anzahl Apparate zur Messung der Lichtintensität beruht auf dem Hauptsatz der Photometrie, nach welchem die Intensität einer Lichtwirkung proportional ist der ausgesandten Energie und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung der Lichtquelle von dem Orte der Beobachtung resp. der Vergleichung.

A. Photometer, bei denen das Gesetz vom Quadrat der Entfernung zur Anwendung gelangt.

Diese Apparate haben auch meist den Zweck, nicht die Lichtquellen unmittelbar mit einander zu vergleichen, sondern die Stärke der Beleuchtung, welche sie gewissen Flächen zukommen lassen, indem man die Helligkeit zweier solcher dicht neben einander gestellten Flächen gleich macht, entweder durch eine Ortsveränderung dieser Flächen oder der Lichtquellen (wenn es sich um irdische Objekte handelte).

a. Die Photometer nach Ritschie, Bunsen und Anderen.

Dahin gehören zunächst die Photometer von Bouguer, Foucault und Ritchie.[2]) Das letztere ist in Fig. 667 schematisch dargestellt. Der auf beiden Seiten offene, innen geschwärzte Kasten B, B, hat an einer Seite einen okularartigen Ansatz A, durch welchen man auf zwei unter 45⁰ gegen die Kastenaxe geneigte Spiegel sieht, die in der Kante b genau zusammen stossen. Über die Öffnung bei a c ist ein gleichmässig geöltes Papier gespannt. Gelangt nun

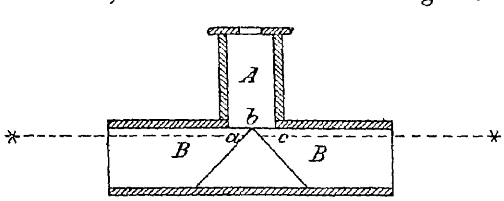


Fig. 667.

[1]) Sehr ausführlich sind diese Apparate behandelt in Müller, Photometrie d. Gestirne. Vergl. auch den Abschnitt: Photometrie von W. Wislicenus in Valentiners Handbuch der Astronomie, Breslau.

[2]) Transact. of the Royal Soc. Edinbourgh, Bd. 10.

von zwei Lichtquellen Licht unter gleichen Winkeln auf die Spiegel (in der Richtung der Kastenaxe), so wird die transparente Fläche a c verschieden erleuchtet erscheinen, wenn die Lichtstärke auf den Spiegeln verschieden ist. Hat man die Entfernungen des Apparates von den beiden Lichtquellen nun so gewählt, dass eine Beleuchtungsgrenze auf der Fläche a c bei b nicht mehr wahrnehmbar ist, so werden sich die Intensitäten der Lichtquellen verhalten umgekehrt wie das Quadrat ihrer Entfernungen von b. Dieses Verschwinden der Lichtgrenze kann man ziemlich scharf wahrnehmen, so dass dasselbe Princip auch noch in anderer Weise benutzt worden ist. (Photometer von STEINHEIL S. 688 ff.).

Ein ähnliches Photometer ist das bekannte Bunsen'sche Fettfleckphotometer. Bei diesem wird die Gleichheit des von zwei Seiten auf ein Papierblatt auffallenden Lichtes dadurch beurtheilt, dass darauf eine durch einen Fettfleck transparent gemachte Stelle verschwindet.

b. Das Astrometer von J. HERSCHEL.

Eines der frühesten wirklich zur Vergleichung der Helligkeit der Gestirne angewandten „Photometer" ist das von JOHN HERSCHEL bei seinen Beobachtungen zu Feldhausen benutzte.[1]) Durch dieses Herschel'sche „Astrometer", wie er es nannte, wird eine mit blossem Auge mögliche Vergleichung eines einigermassen konstant hellen, künstlichen Sternes mit den ihrer Helligkeit nach zu bestimmenden Sternen erzielt. HERSCHEL's Einrichtung war die folgende: Eine Stange von 20 Fuss Länge ist aufrecht im Erdboden befestigt, daran schwebt eine zweite Stange von $2^3/_4$ Zoll Dicke und etwa 12 Fuss Länge, welche an ihren Enden eingelassene Rollen trägt über die hinaus noch zwei eiserne Ansätze ragen. Auf dieser Stange gleitet ein weiterer Theil des Apparates, welcher aus einem Holzklotz von 15″ Länge, $2^3/_4$″ Breite und 2″ Dicke besteht, Fig. 668. Derselbe ist unten ausgehöhlt, so dass er auf die Rundung der zweiten Stange passt. Seine Lage darauf wird gesichert durch die Spange R und das Gegengewicht Q an der Stange O. Dieser Schlitten trägt das Glasprisma P und die Linse L von kurzer Brennweite in dem Schirm F. Das Prisma P sitzt auf dem Arm CD, welcher mittelst der Schnüre J und K um den Zapfen bei E gedreht werden kann. Der ganze Schlitten AB kann mittelst der über die erwähnten Rollen laufenden Schnüre auf der zweiten Stange entlang gezogen werden. Die letztere wird nun durch Schnüre so gestellt, dass sie sich mit dem einen Ende nahe dem Auge des Beobachters befindet, während das andere nahezu nach dem zu beobachtenden Gestirne gerichtet ist. Wird nun der Schlitten und das auf ihm befindliche Prisma so gestellt, dass die Richtung M nach dem Mond oder Jupiter zeigt, so wird durch totale Reflexion und mittelst der Linse L ein sternförmiges Bild desselben erzeugt werden. Dieses Bildchen von dem für längere Zeit mit nahe konstanter Helligkeit leuchtendem Monde oder Jupiter wird nun mit freiem Auge mit

[1]) Results of astron. observations made during the years 1834—38 at Cape of Good Hope. London 1847, S. 353.

dem zu beobachtenden Gestirne verglichen. Die Helligkeit des Bildchens kann offenbar durch die Entfernung des Schlittens vom Auge verändert werden,[1]) und so ist es möglich, dass man nach einander mehrere Sterne vergleichen kann und unter der Annahme, dass sich die Intensität des Vergleichs-

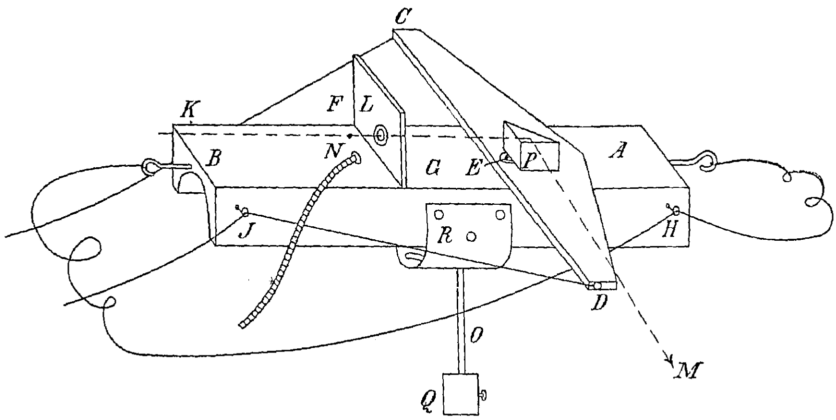


Fig. 668.
(Nach Results of observ. of Cape of Good Hope.)

objektes während der Beobachtungszeit nicht oder in bekannter Weise ändert, wird die relative Helligkeit der einzelnen Sterne zu einander bestimmt. J. Herschel hat mit diesem „Astrometer" nur 69 Sterne verglichen, da ihm die Methode selbst zu umständlich und zu ungenau gegenüber den einfachen Einschätzungen vorkam.[2])

c. Das Steinheil'sche Photometer.

Findet bei dem Herschel'schen Astrometer der Vergleich der Gestirne mit einer als „konstant" angenommenen Lichtquelle statt durch Nebeneinanderstellen der punktförmigen Sternbilder, so ist Steinheil wieder auf das Princip der Flächenvergleichung übergegangen und hat zu diesem Zwecke einen sehr sinnreich konstruirten Apparat angegeben, bei dem die Sterne nicht

[1]) Die Intensität des künstlichen Sternes nimmt bekanntlich im Quadrat der Entfernung ab, so dass aus der Entfernung der Linse resp. ihres Brennpunktes vom Auge (d) auf die erstere geschlossen werden kann. Die veränderte Helligkeit des Mondes z. B. wird dadurch in Rechnung gezogen, dass man dieselbe auf die des Vollmondes im Zenith reducirt, was Herschel nach der Formel

$$M = 1000 \left(\frac{\triangle}{R \,.\, 933'',5} \sin \frac{l}{2} \right)^2,$$

wo $\triangle$ der vergrösserte Halbmesser des Mondes in Bogensekunden für den Ort und die Zeit der Beobachtung, l dessen angulärer Abstand von der Sonne, R der Rad. Vect. der Erde, die mittlere Entfernung von der Sonne = 1 gesetzt und 933'',5 der mittlere Halbmesser des Mondes ist. Es wird dann M die absolute Helligkeit des Mondes sein unter der Voraussetzung gleicher Helligkeit der einzelnen Mondtheile, und $\frac{M}{d^2}$ die scheinbare des erzeugten Bildes in der Entfernung d.

[2]) Die gefundenen Resultate im Vergleich mit seinen anderen Helligkeitsschätzungen finden sich auf S. 371 des genannten Werkes, auf die bezüglich der erzielten Resultate hier verwiesen werden muss.

als Punkte, sondern als Flächentheile mit einander verglichen werden, indem er die Zerstreuungsbilder derselben benutzt. Betrachtet man nämlich das von einem Stern durch das Objektiv ins Fernrohr kommende Licht nicht im Vereinigungspunkte (im Bildpunkte), sondern vor oder hinter diesem, so wird der Stern als Lichtscheibchen erscheinen, also eine erleuchtete Fläche darstellen. Könnte man nun im Fernrohr gleichzeitig die Bilder zweier Sterne mit zwei verschieden weit eingeschobenen Okularen betrachten, so würde bei ungleicher Helligkeit der Gestirne die Helligkeit der Flächen dann gleich erscheinen, wenn sich die Scheibchen (die Querschnitte der Lichtkegel), für welche die Okulare scharf eingestellt sind verhalten, wie die Helligkeiten der Gestirne; denn das Licht der helleren wird auch auf eine im Quadrat zur Verschiebung des Okulars wachsenden Fläche vertheilt erscheinen. Da nun diese Anordnung technisch so gut wie unmöglich ist und auch die Verschiedenheit der Okulare erst wieder durch Umtausch ausgeglichen werden müsste, so hat Steinheil statt zweier Okulare die beiden Hälften eines nach Art eines Heliometers durchschnittenen Objektivs zur Erzeugung der beiden Sternbildscheibchen benutzt und durch die Verschiebung dieser Objektivhälften längs ihrer optischen Axe die Variation der Flächenintensität der Scheibchen hervorgebracht. In Fig. 669 ist das Steinheil'sche Prismenphotometer nach der Darstellung in Steinheil's Originalabhandlung abgebildet. Das Fernrohr F mit den beiden Objektivhälften ist zunächst um eine Axe a a drehbar, und diese geht durch die Büchse b, welche durch einen Würfel mit der Horizontalaxe d verbunden ist. Letztere ruht in einer Gabel c, welche auf dem oberen Ende einer Vertikalaxe befestigt ist. Die Säule des Stativs S nimmt diese Axe auf; das Instrument hat also eine dreifache Bewegung. An dem einen Ende des Fernrohrs ist ein Würfel W angesetzt, dessen eine Seite durchbohrt ist, und in dem ein rechtwinkliges Prisma p, Fig. 670 b, so vor der einen Objektivhälfte (korrigirbar) befestigt ist, dass seine eine Kathetenfläche senkrecht zur optischen Axe steht. Auf der oberen Seite des Würfels sitzt um die optische Axe drehbar ein zweites solches Prisma p′, welches Licht nach der anderen Objektivhälfte reflektirt wenn solches senkrecht zum Fernrohr einfällt.

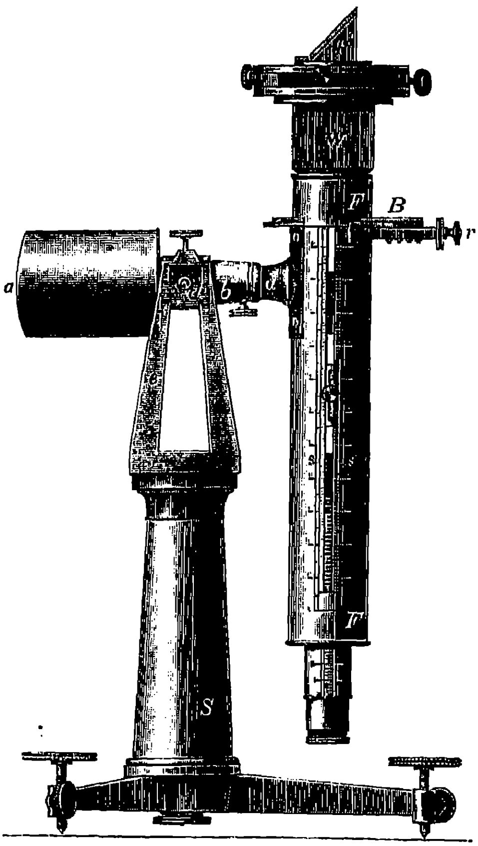


Fig. 669.

Es ist leicht zu sehen, dass man auf diese Weise die Bilder zweier Sterne von beliebiger Stellung am Himmel in dem Fernrohr erzeugen kann, man braucht zu diesem Zweck dasselbe nur nach dem Pol desjenigen grössten Kreises am Himmel zu richten, welcher durch die beiden Sterne geht und am festen Prisma den einen einzustellen (später ist zu diesem Zweck ein kleines Hülfsfernrohr so angebracht, dass bei allen Stellungen des Instruments seine Axe immer senkrecht zur zweiten Kathetenfläche des festen Prismas bleibt) und dann das andere Prisma soweit um die optische Axe des Fernrohrs zu drehen, bis seine zweite Kathetenfläche mit der entsprechenden des festen Prismas einen Winkel einschliesst, welcher gleich der angulären Distanz beider Sterne ist.

Die beiden Objektivhälften o und o′, Fig. 670a, können jede für sich mit ihren Fassungen im Rohre durch Knöpfe, die heraus ragen, verschoben werden; ihre Stellung wird an den beiden Skalen s und s′ abgelesen. Stehen

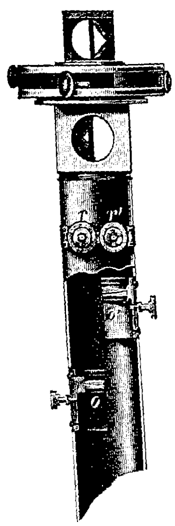


Fig. 670a.

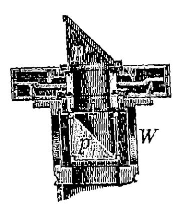


Fig. 670b.

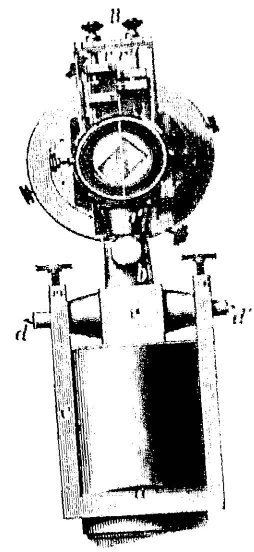


Fig. 670c.

beide Objektivhälften etwa in der Mitte dieser Skalen, so wird das Okularrohr, welches ebenfalls mit einer Skala versehen ist, so gestellt, dass die Bilder der Sterne scharf erscheinen. Werden nun die Objektive verschoben, so werden die Sterne sich zu Flächen, etwa von der Form der Objektivfassungen ausbreiten, und zwar wird der Durchmesser der Halbscheiben von der Entfernung der Objektive von ihrer normalen Stellung abhängen und die Helligkeit ausserdem von der des betreffenden Sternes. Es kann aber, wie oben bemerkt, durch verschieden grosse Verschiebung diese Helligkeit gleich gemacht und die Grenzlinie zwischen beiden Sternscheibchen zum Verschwinden gebracht werden. Dabei würden aber die Scheibchen von ungleichem Durchmesser werden, was die Schätzung der gleichen Helligkeit etwas erschwert. Um dieses zu vermeiden, befindet sich vor jeder Objektivhälfte bei B noch eine Schiebereinrichtung, welche so eingerichtet ist, dass durch je eine rechts- und linksgängige Schraube r und r′ zwei Blechstreifen so symmetrisch zur

optischen Axe bewegt werden, dass sie immer gleichschenklige rechtwinklige Dreiecke frei lassen, deren Hypotenusenseiten mit der Schnittlinie des Objektivs zusammenfallen, wie es Fig. 670c erkennen lässt. Dadurch können die so gebildeten Lichtdreiecke jede gewünschte Grösse erhalten.

Da die Flächenintensität der auf der Netzhaut erzeugten Lichtflächen unabhängig von der freien Öffnung des Objektivs ist, so wird eine Abblendung derselben keinen weiteren Einfluss auf die Schätzung der Helligkeit haben, wohl aber wird das verschiedene Absorptions- und Reflexionsvermögen der beiden Objektivhälften (durch Färbung, Staub u. s. w.), obgleich sie aus ein und demselben Objektiv geschnitten sind, die Schätzung beeinflussen können. Deshalb ist es nöthig, bei der Ableitung der Resultate aus der Grösse der Objektivverschiebungen diesen Unterschied entweder in Rechnung zu bringen oder zu eliminiren.

Sind S und T die Helligkeiten zweier Gestirne, wie sie mit freiem Auge erscheinen, und absorbirt das eine Prisma A den A ten Theil des auffallenden Lichtes und das Prisma B den B ten Theil desselben und sind ferner α und β die Verschiebungen, welche man den beiden Objektivhälften gegen ihre Normalstellung geben muss, um gleiche Helligkeit zu bekommen, so hat man offenbar, wenn zunächst der Stern S durch A und der Stern T durch B beobachtet wird:

$$\frac{\sqrt{S}}{\sqrt{A}} : \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{B}} = \alpha : \beta;$$

vertauscht man die Objektivhälften in Bezug auf die Sterne,

so wird: $$\frac{\sqrt{S}}{\sqrt{B}} : \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{A}} = \alpha' : \beta'.$$

Hieraus folgt: $$S : T = \alpha\alpha' : \beta\beta'$$

oder: $$\log S - \log T = \log\frac{\alpha}{\beta} + \log\frac{\alpha'}{\beta'};\ \log\frac{A}{B} = \log\frac{\alpha'}{\beta'} - \log\frac{\alpha}{\beta}.$$

Damit ist sowohl das Verhältniss der Absorptionskoefficienten A und B bestimmt, als auch das Verhältniss der Helligkeiten der beiden Sterne zu einander. Ist also der eine von bekannter Helligkeit, so findet man die des anderen; oder man kann auch die beiden zu vergleichenden Sterne mit ein und demselben dritten Sterne verbinden und so die Helligkeiten im Verhältniss zu diesem bestimmen, der Vergleich giebt dann auch das Verhältniss für die beiden ersteren.

Auch dadurch, dass ein und derselbe Stern gleichzeitig durch beide Prismen und Objektivhälften beobachtet wird, kann man, wie leicht zu sehen, das Verhältniss von A zu B bestimmen. Es ist nämlich:

$$\log\frac{A}{B} = -2\log\frac{\gamma}{\delta},$$

wenn jetzt γ resp. δ die Verschiebungen der Objektivhälften sind.

Dadurch, dass man die Vergleichungen jedesmal in den beiden gleichberechtigten Stellungen der Objektivhälften ausführt, kann man sich von der

Ablesung für die Normalstellung unabhängig machen; man erhält nämlich für das Helligkeitsverhältniss einmal

$$\sqrt{\frac{S}{A}} : \sqrt{\frac{T}{B}} = (F' - f'_v) : (F'' - f''_v)$$

$$\sqrt{\frac{S}{A}} : \sqrt{\frac{T}{B}} = (f'_h - F') : (f''_h - F'')$$

wo F' und F'' die Ablesungen in den Normalstellungen und f'_v, f''_v resp. f'_h, f''_h die Ablesungen für die Objektivstellungen vor und hinter der Normalstellung bedeuten.

Hieraus folgt: $$\sqrt{\frac{S}{A}} : \sqrt{\frac{T}{B}} = (f'_h - f'_v) : (f''_h - f''_v)$$

oder: $$\sqrt{\frac{S}{T}} = \frac{f'_h - f'_v}{f''_h - f''_v} \cdot \sqrt{\frac{A}{B}}$$

logarithmisch: $$\log S - \log T = 2 \log (f'_h - f'_v) - 2 \log (f''_h - f''_v) + \log \left(\frac{A}{B}\right).$$

Das Absorptionsverhältniss $\frac{A}{B}$ ist unter steter Kontrole zu halten oder immer aus den Beobachtungen zu eliminiren, da es sich sehr schnell zu ändern pflegt; schon ein geringer Beschlag der Prismenoberflächen oder etwas Staub kann dieses Verhältniss merkbar ändern. Die Schwankung in der Helligkeit des Himmelsgrundes ist bei diesem Photometer ohne Belang, da man die Vergleichung der Lichtfläche immer in einem Gesichtsfelde macht, dessen allgemeine Helligkeit sich aus beiden Lichtmengen (welche vom Himmelshintergrund in das Fernrohr kommen) stets zu einem Mittel vereinigt, welches dann die Intensität der Lichtflächen gleichmässig beeinflusst. Ausser der schwierigen Handhabung dieses Photometers zeigt es auch noch einige andere Mängel,[1]) welche seiner häufigen Anwendung im Wege standen. Durch die vielfache Reflexion wird das Sternlicht so geschwächt, dass man schon Instrumente von grosser Öffnung bedürfte, um schwächere Sterne zu vergleichen, und ausserdem kommt es nicht selten vor, dass man zugleich mit dem zu vergleichenden auch noch andere schwache Sterne im Gesichtsfelde hat; das beeinflusst natürlich die Schätzung sehr, da das Licht dieser Sterne dann auch die betreffende Fläche mit erleuchtet und sich nicht davon trennen lässt.

Ludwig v. Seidel hat mit diesem Instrumente eine grössere Reihe von Messungen ausgeführt, welche sich an die von Steinheil selbst anschliessen.[2]) Steinheil hat neben den eben beschriebenen Photometern noch andere ähnliche Instrumente angegeben, z. B. ein solches, welches an ein grösseres

[1]) Für die Wiener Sternwarte hat Steinheil ein solches Photometer gebaut, bei dem das Fernrohr der Weltaxe parallel liegt. Das erleichtert die Einstellung der Gestirne natürlich sehr, da man an den die Prismen tragenden Scheiben, welche noch Spiegel tragen, dann nur die Differenz der Deklination und der Rektascension einzustellen braucht.

[2]) L. v. Seidel, Untersuchungen über die gegenseitigen Helligkeiten der Fixsterne erster Grösse etc. — Akad. Denkschriften II. Kl., Bd. VI, Abth. III. München 1852.

Untersuchungen über die Lichtstärke der Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn etc. München 1859 — Monum. secularia der Akad. II. Kl. Resultate photometrischer Messungen an 208 der vorzüglichsten Fixsterne, Math. physik. Klasse der Kgl. Akademie IX, Abth. III. München 1864.

Fernrohr angeschraubt werden konnte, und bei dem der eine Stern durch dieses und der zweite durch ein rechtwinklig dazu gestelltes kleines Hülfsfernrohr am Okularauszug in das Gesichtsfeld gebracht werden kann. Das letztere enthält dann vor seinem Objektiv das zweite reflektirende Prisma. Da aber hier die Verschiedenheit der optischen Hülfsmittel sehr gross ist, konnte immer nur durch Vergleichung der zwei zu messenden Sterne mit dem Bilde eines dritten, welches in beiden Fällen durch denselben Theil des Apparates erzeugt werden musste, vorgegangen werden. Dieser Umstand hat natürlich die Messungen sehr erschwert.

Bei der Prüfung seines Prismen-Photometers hat Steinheil ein Verfahren der Helligkeitsmessung zur Anwendung gebracht, welches sich auf den Umstand gründet, dass von einer spiegelnden Kugeloberfläche je nach deren Radius ein stark verkleinertes Bild eines begrenzten leuchtenden Objektes entworfen wird. Die Intensität und Grösse dieses Bildes werden abhängig sein von der Entfernung dieser Kugel vom leuchtenden Objekt und vom Beobachter, von deren Reflexionsvermögen und ihrem Radius. Daraus geht hervor, dass man z. B. mittelst derselben Kugel die Bilder der Sonne, des Mondes oder anderer heller Objekte bezüglich ihrer Helligkeit mit einander in Beziehung setzen kann, wenn die Entfernung der Kugel vom Beobachter messbar variirt wird. Eine genaue Theorie dieser Vergleichungsmethode giebt Müller in seiner „Photometrie der Gestirne", S. 227 ff., auf welche an dieser Stelle verwiesen werden muss. Es geht daraus hervor, dass die Helligkeit des von einer spiegelnden Kugel reflektirten Bildes direkt proportional dem Quadrate des Kugelradius und umgekehrt proportional den Quadraten der Entfernungen der Kugel von Lichtquelle und Beobachter ist. Vor Steinheil[1]) hat schon Wollaston diese Methode zur Vergleichung der Helligkeit der Sonne mit derjenigen heller Fixsterne benutzt,[2]) indem er das Licht beider von der Oberfläche einer Thermometerkugel reflektiren liess und die so gewonnenen sternartigen Bilder mit dem Reflexbild einer irdischen Lichtquelle an einer gleichen Thermometerkugel verglich. Wenn auch die Resultate Wollastons durch die Unsicherheit in der Annahme der Konstanten (Reflexionsvermögen, Radius u. s. w.) sehr beeinträchtigt werden, so ist doch die Methode selbst bei sorgfältiger Konstantenbestimmung oder bei Benutzung ein und derselben spiegelnden Kugel, wie es Bond[3]) bei seiner Vergleichung des Mondes mit den Planeten Jupiter und Venus that, nicht ganz zu verwerfen. Wegen ihrer Einfachheit ist sie häufiger in der Photometrie angewendet worden.

B. Photometer, bei denen die Vergleichung durch Einführung von Blenden bewirkt wird.

a. Schwerd's Photometer.

Unmittelbar an dieses Photometer schliesst sich dasjenige an, welches Prof. Schwerd in Speyer nahezu gleichzeitig mit dem von Steinheil gebauten

1) Steinheil, Elemente der Helligkeitsmessungen am Sternenhimmel, S. 33 u. 49.

2) Philos. Transact. of the Royal Soc. London 1829, S. 19.

3) Memoirs of the Amer. Acad. of science, new series, Bd. VIII, S. 221.

konstruirte. Es unterscheidet sich aber wesentlich dadurch von dem Steinheil'schen, dass nicht Flächen, zu denen man die Bilder der Sterne vergrössert, mit einander verglichen werden, sondern diese Bilder selbst. Fig. 671 stellt eines dieser nach SCHWERDS Angaben gebauten Photometer dar.[1])

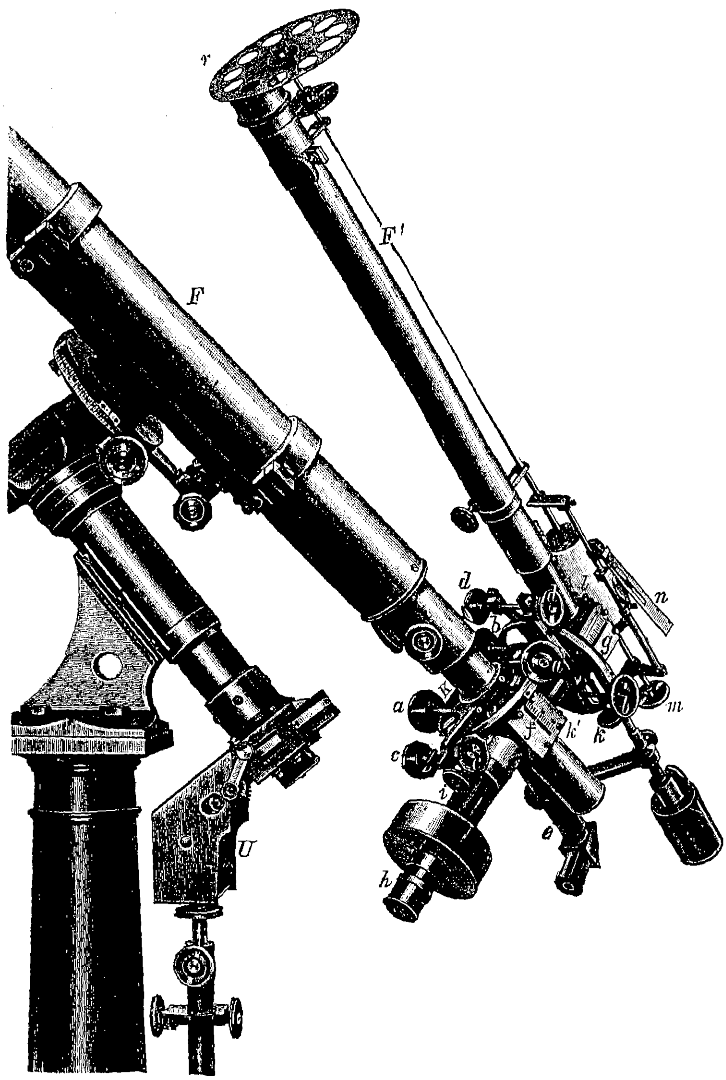


Fig. 671.
(Aus Müller, Photometrie d. Gestirne.)

Das Photometer besteht aus zwei Fernrohren F und F'. Das eine davon, F, ist parallaktisch aufgestellt und kann durch ein Uhrwerk U der täglichen Bewegung folgen. F' ist mit F durch ein doppeltes Axensystem verbunden, so dass seiner Absehenslinie, gegenüber der von F, jede beliebige Stellung

[1]) Die Abbildung ist dem Müller'schen Werke entnommen. Es existiren ausserdem überhaupt nur noch vier solche Instrumente, nämlich in Bonn, in Pulkowa, in Wilna und eines ist im Besitze der Schwerd'schen Familie.

gegeben werden kann, während es gleichfalls an der Bewegung des Hauptfernrohres Theil nimmt. K und K' sind die Kreise, welche die gegenseitige Lage von F und F' zu messen gestatten; a, b, c und d sind die resp. Klemmen und Feinbewegungen.

Zur bequemen Einstellung heller Objekte kann das Hülfsfernrohr e benutzt werden; im Übrigen sind auch Rektascensions- und Deklinationsaxe mit entsprechenden Kreisen versehen. In den Würfeln f und g befinden sich totalreflektirende Prismen, durch welche die durch beide Fernrohre erzeugten Bilder in ein gemeinschaftliches Okular h reflektirt werden, um sie dort neben einander betrachten zu können. Der Hintergrund für beide Sterne wird durch eine verhältnissmässig starke Beleuchtung des Gesichtsfeldes gleichmässig hell gemacht.

Da es für die Beurtheilung der gleichen Helligkeit zweier Sternbilder von besonderer Bedeutung ist, dass die Beugungsverhältnisse auch bei ihrem Zustandekommen die nämlichen sind, hat Schwerd in richtiger Erkenntniss dieses Umstandes die Verhältnisse zwischen Öffnung und Brennweite in beiden Fernrohren gleich gewählt. F hat bei einer Öffnung von 52 mm eine Brennweite von 1260 mm, während F' eine Öffnung von 26 mm und 630 mm Brennweite besitzt.[1]) Ausserdem kann aber der Helligkeitsunterschied, welcher unter diesen Umständen sich wie 4:1 verhält, noch durch eine Reihe von Blenden variirt werden. Beide Fernrohre haben die nöthigen Einrichtungen; die für das kleinere ist bei r sichtbar. Durch Anwendung derselben würde aber das gleiche Verhältniss von Brennweite und Öffnung gestört werden, um dieses immer konstant zu erhalten, ist zwischen Objektiv und Okular je eine verschiebbare Kollektivlinse eingeschaltet, denen durch die Schlüssel i und k verschiedene Stellungen gegeben werden können, die an den beiden Skalen bei f und g abzulesen sind.

Die jeweils vor dem Objektiv des kleinen Fernrohrs befindliche Blende wird durch Registrirung auf der Trommel l mittelst eines Druckes auf den Hebel n bezeichnet, welcher einen Stift gegen die Trommel drückt. Diese Trommel sitzt mit der Blendenscheibe auf derselben Axe, welche durch den Griff bei m gedreht werden kann, während nach jeder vorgenommenen Verschiebung durch den Stift bei n ein Punkt auf dem Papier der Walze gemacht wird, der dann mit einer der Blendenöffnungen korrespondirt. Diese stehen bezüglich ihrer Weite wieder mit der Bezifferung der Skalen bei g und f in Übereinstimmung. Nach Herstellung der gleichen Bildhelligkeit mittelst Blende und Sammellinse kann aus Blendenöffnung und Brennweite auf die Helligkeitsdifferenz geschlossen werden.

Man sieht sofort, dass dieses Instrument äusserst komplicirt gebaut und deshalb seine Handhabung auch umständlich ist. Doch ist es thatsächlich mehrmals zur Anwendung gelangt, so namentlich in Wilna, wo F. Berg die für alle photometrischen Messungen so äusserst wichtige Verschiedenheit der Absorption des Lichtes in verschiedenen Zenithdistanzen (die sogenannte

---

[1]) Müller, Photometrie d. Gestirne, S. 214. Die Angaben beziehen sich auf das Instrument in Wilna.

Extinktion) damit untersucht hat. Beschrieben ist das Instrument zuerst von ARGELANDER[1]) und in russischer Sprache von F. BERG.[2])

b. Die Photometer von TALBOT, HORNSTEIN, SECCHI, LANGLEY und Anderen.

Bei dem Schwerd'schen Photometer werden die Helligkeiten der beiden Sternbilder zum Theil durch vor den Objektiven angebrachte Blenden gleich gemacht. Dieses Princip ist ausser zu den später zu besprechenden Auslöschphotometern auch noch weiter zu Vergleichsphotometern in der verschiedensten Weise verwendet worden. Ein von HORNSTEIN angegebenes Zonenphotometer, welches zur Vergleichung nahe bei einander stehender Sterne benutzt werden soll, verwendet diese Methode, ebenso hat man sie angewandt zur Vergleichung der Bilder, welche ein Spiegelsextant oder ein Heliometer von zwei Sternen entwirft. In besonderer Weise aber haben TALBOT, SECCHI, ABNEY, und in neuerer Zeit wieder LANGLEY die Abblendung hervorgebracht. Der Erstere blendete das in das Fernrohr gelangende Licht dadurch ab, dass er vor dem Objektiv eine Scheibe um eine der optischen Axe parallele Axe schnell rotiren liess, die sektorenförmig ausgeschnitten war, Fig. 672. Es ist klar, dass sich nach dem Verhältniss der freien Sektoren zu den in der Scheibe stehen gebliebenen auch die Menge des eintretenden Lichtes verhalten muss. Giebt man nun der Scheibe eine solche Konstruktion, dass dieses Verhältniss geändert werden kann, etwa durch Übereinanderlagern mehrerer solcher Scheiben, die sich um die gemeinschaftliche Rotationsaxe jalousieartig gegen einander verstellen lassen, oder durch die Wahl der Form der Ausschnitte,[3]) so kann man die Helligkeit des Sternbildes messbar verändern und damit das Verhältniss der Helligkeit zweier Sterne zu einem dritten oder zu der von einer konstanten Lichtquelle erzeugten messen, wenn man diese zugleich auch in geeigneter Weise im Gesichtsfeld sichtbar macht. Auf Sterne hat SECCHI dieses Verfahren angewendet. Er hat seiner rotirenden Scheibe aber auch noch eine andere Form gegeben, nämlich die in Fig. 674 gezeichnete. Bestimmt man hier den Radius r desjenigen Kreises, den die Axe des hindurchgehenden Lichtkegels auf der rotirenden Scheibe beschreibt, so giebt das Verhältniss von r zum Radius R der Scheibe ohne weiteres ein

---

[1]) F. W. Argelander, Sitzungsberichte des naturhistor. Vereins d. preuss. Rheinlande und Westphalens, Neue Folge, 1859, S. 64 — Heis, Wochenschrift 1859, S. 275.

[2]) F. Berg, Über das Schwerd'sche Photometer und über die Lichtextinktion für den Horizont von Wilna, 1870.

[3]) Talbot wandte späterhin eine Scheibe an, deren Ausschnitt nach einer Seite hin durch eine archimedische Spirale begrenzt war, wie es Fig. 673 zeigt. Die Gleichung einer solchen in Polarkoordinaten ist aber $r = \frac{2\pi - v}{2\pi}$ oder $1 - r = \frac{v}{2\pi}$, wenn der Radius der Scheibe mit 1 bezeichnet wird und der Winkel v vom Radius ab aus im Sinne des Uhrzeigers wächst. Da nun $1 - r$ der Abstand eines Punktes der Spirale vom Rande der Scheibe und die Grösse $\frac{v}{2\pi}$ das Maass für die Helligkeit ist, so wird die Helligkeit des Bildes eines leuchtenden Punktes, wenn man die Scheibe um eine Axe rotiren lässt, der verschiedene Entfernungen von der Visirlinie (der opt. Axe) gegeben werden kann, in dem Verhältniss dieser Abstände ab- oder zunehmen.

Kriterium für das Helligkeitsverhältniss zwischen der gesammten in das Instrument gelangenden Lichtmenge und der durch die Ausschnitte hindurchgehenden, also der das Bild im Auge erzeugenden. Das Auge vermag bei Anwendung solcher Apparate, die schnell auf einander folgenden Lichtblitze nicht mehr gesondert zu unterscheiden und nimmt nur ein Bild des Objektes wahr, welches aber in dem betreffenden Verhältniss der freien Peripherie zur Peripherie des ganzen Kreises geschwächt erscheint. Auf diesem Umstande beruht überhaupt die Anwendung solcher Blenden.

Eine wirkliche vergleichende Messung, ausser den rohen Versuchen Secchis, wird sich aber erst ermöglichen lassen, seit Napoli, Langley, Abney und ganz neuerlich Lummer und Brodhun die technische Einrichtung der rotirenden Scheiben dadurch wesentlich vervollkommnet haben, dass man im Stande ist, das Sektorenverhältniss während der Rotation messbar verändern zu können. Müller bemerkt in seiner Photometrie der Gestirne, S. 225, zu dieser Methode Folgendes, indem er sie sehr der Beachtung empfiehlt: „Es lässt sich z. B. leicht ein kompendiöser Apparat, bei welchem

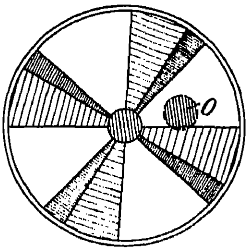


Fig 672.

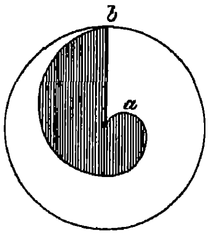


Fig. 673.

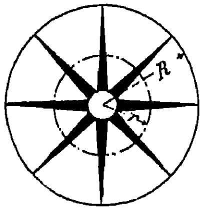


Fig. 674.

zwei gegeneinander beliebig verstellbare Scheiben mit gleich grossen Ausschnitten durch ein Uhrwerk oder irgend einen kleinen Motor in schnelle Rotation versetzt werden, so an einem beliebigen Refraktor anbringen, dass die Scheiben durch den vom Objektiv kommenden Lichtkegel in der Nähe des Brennpunktes hindurchgehen. Wird das Fernrohr auf irgend einen Stern gerichtet, so kann man durch Verstellen der beiden Scheiben gegeneinander (während der Rotation) die Helligkeit desselben so weit verändern, bis er gleich hell erscheint mit einem künstlichen Sterne von konstanter Helligkeit, welcher durch ein seitliches Rohr und durch Reflexion an einer unter 45^0 gegen die optische Axe des Fernrohrs geneigten planparallelen Glasplatte (ähnlich wie beim Zöllner'schen Photometer) in das Gesichtsfeld des Okulars gebracht wird. Auf dieselbe Weise beobachtet man einen zweiten Stern und findet so das Helligkeitsverhältniss desselben zu dem ersten. Die verschiedene Helligkeit des Himmelsgrundes hat dabei keinen schädlichen Einfluss, weil sich stets der Untergrund des künstlichen Sternes mit dem des wirklichen vermischt. Wir wollen annehmen, dass jede der beiden Scheiben vier Ausschnitte von 45^0 Öffnungswinkel hat; dann wird eine vollständige Abschliessung des Lichtes eintreten, sobald die Ausschnitte der einen Scheibe mit den undurchsichtigen Theilen der anderen koincidiren, dagegen wird die grösste nutzbare Öffnung 180^0 betragen. Man sieht übrigens sofort, dass

die Empfindlichkeit der Messungen sehr verschieden sein kann. Sind die Scheiben möglichst weit, also auf 180° geöffnet, so muss man sie um 16° gegeneinander verstellen, um eine Lichtschwächung von 0,1 Grössenklassen hervorzubringen; lassen die Scheiben aber nur eine Öffnung von 4° frei, so genügt bereits eine Verschiebung von 0,4°, um denselben Effekt hervorzubringen."

C. Polarisations-Photometer.

Von einem ganz anderen Princip geht die Vergleichung der Intensität zweier Lichtquellen aus, die bewirkt wird durch die Veränderung der Helligkeiten mit Hülfe polarisirender Einrichtungen. Bekanntlich hat Malus die Entdeckung gemacht, dass das von einer spiegelnden Fläche reflektirte Licht gewisse Eigenschaften des natürlichen Lichtes verloren hat, dass nämlich die die Lichtempfindung hervorbringenden Schwingungen des Äthers dann nicht mehr in allen beliebigen zur Fortpflanzungsrichtung senkrechten Richtungen vor sich gehen, sondern dass diese Schwingungen nur noch in einer bestimmten Ebene erfolgen. Es ist dazu aber erforderlich, dass die Reflexion je nach der Substanz des Reflektors unter einem bestimmten Winkel erfolgt, da anderenfalls nur ein mehr oder weniger grosser Bruchtheil der Ätherschwingungen sich in der betreffenden Ebene anordnet, d. h. polarisirt wird.

Brewster hat gefunden, dass dieser Reflexionswinkel so beschaffen sein muss, dass der reflektirte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht, falls die Substanz eine durchsichtige ist. Für Glas beträgt der Winkel z. B. 30 bis 35°, für Wasser ist er etwas grösser.

Eine solche Polarisation des Lichtes wird aber nicht nur durch Reflexion hervorgebracht, sondern auch bei dem Durchgang durch doppelbrechende Krystalle. Insbesondere bei optisch einaxigen Krystallen enthalten der ordentlich gebrochene und der ausserordentlich gebrochene Strahl dann senkrecht zu einander polarisirtes Licht. Ohne weiter auf die physikalischen Eigenschaften dieser Krystalle und die Theorie der Polarisation einzugehen, soll hier nur noch erwähnt werden, dass durch eine zweite Reflexion an einer spiegelnden Fläche oder den Durchgang durch einen zweiten Krystall gleicher Eigenschaft eine Intensitätsänderung des betreffenden Lichtstrahles bewirkt werden kann. Es wird nämlich dadurch bei bestimmten Stellungen nur ein Theil des polarisirten Lichtes weiter reflektirt oder hindurch gelassen, dessen Menge bestimmt wird durch das von Malus aufgestellte Kosinusquadratgesetz.

Da gegenwärtig zu solchen photometrischen Apparaten fast ausschliesslich doppelbrechende Krystalle verwandt werden, mag das genannte Gesetz auch in der darauf bezüglichen Form ausgesprochen werden. Dasselbe lautet: Fällt ein geradlinig polarisirter Lichtstrahl (also ein solcher, bei dem die zu der Fortpflanzungsrichtung senkrechten Ätherschwingungen nur noch in einer Ebene stattfinden, welche dann durch eben diese Fortpflanzungsrichtung hindurchgeht) auf einen als „Analysator" dienenden doppelbrechenden Krystall, so ist die Intensität 0 des austretenden Lichtes für den ordentlichen Strahl proportional dem Quadrate des Kosinus desjenigen Winkels, welchen der Hauptschnitt des Krystalles mit der Polarisationsebene

des auffallenden Lichtes macht, und diejenige E des ausserordentlich gebrochenen Strahles proportional dem Quadrat des Sinus des genannten Winkels.

Denkt man sich nun z. B. einen Strahl gewöhnlichen Lichtes von der Intensität J auf ein Rochon'sches oder Wollaston'sches Prisma[1]) auffallend, so wird derselbe im Allgemeinen in zwei Strahlen zerlegt, von denen der eine Licht enthält, welches senkrecht zum Hauptschnitt, und der andere solches, welches in der Ebene des Hauptschnittes polarisirt ist. Die Intensitäten beider Strahlen werden aber (sehr nahe) gleich sein, nämlich

$O = \frac{1}{2} m J$ und $E = \frac{1}{2} m J$, wenn m einen Absorptionsfaktor bedeutet.

Fängt man nun diese beiden Strahlen mit einem sogenannten Nicol'schen Prisma[2]) auf, so werden durch dieses die Intensitäten der beiden aus demselben austretenden Strahlen O' und E' nach dem Malus'schen Gesetz: $O' = {}^1/_2\, m\, m_1\, J \sin^2 \varphi$ und $E' = {}^1/_2\, m\, m_1\, J \cos^2 \varphi$, wenn m_1 der für das Nicol'sche Prisma gültige Absorptionskoefficient ist.

Fallen nun von zwei Lichtquellen mit den Intensitäten J_1 und J_2 Lichtstrahlen neben einander auf einen solchen Krystall als Polarisator, so treten aus dem als Analysator dienenden Nicol'schen Prisma im Ganzen vier Strahlen aus, deren Intensitäten sind:

---

[1]) Vergl. über die Eigenschaften dieser Prismen das Kapitel „Mikrometer", S. 599 u. 602.

[2]) Das Nicol'sche Prisma hat den Vortheil, dass aus ihm überhaupt nur ein Strahlenbüschel, nämlich das ausserordentlich gebrochene an der Vorderfläche wieder austritt, das ordentlich gebrochene aber durch totale Reflexion seitlich den Krystall verlässt. Fig. 675a stellt die Einrichtung eines solchen Prismas dar. Ist A G ein natürliches Kalkspathrhomboeder, dessen Axe durch die beiden Ecken C E geht, so dass eine durch A C G E gelegte Ebene ein Hauptschnitt des Krystalles ist, so bildet die Ebene A B C mit der Kante K einen Winkel von 71°. Man schleift nun zunächst anstatt dieser und der ihr parallelen Fläche E F G andere an den Krystall, welche auf der durch A C G E gelegten Ebene ebenfalls senkrecht stehen, aber mit den Kanten K Winkel von 68° bilden. Ist das geschehen, so durchschneidet man den Kalkspath in einer Ebene, welche zugleich senkrecht ist zur Ebene A C G E, und zu den neu angeschliffenen Flächen. Die Schnittflächen werden gut polirt und darauf die beiden Stücke des Krystalles wieder in ihrer früheren Lage mit Kanadabalsam auf einander gekittet. Sei in Fig. 675b A C' G E' der durch den einfallenden Strahl J i gelegte Hauptschnitt des Krystalls, E' C' sei die Kittfläche, so wird der in der Richtung J i auffallende Strahl bei i in einen ordentlichen und in einen ausserordentlich gebrochenen zerlegt werden, von denen der erstere wegen des grösseren Brechungsindex nach o und der letztere nach d abgelenkt wird. Da der Incidenzwinkel bei o aber grösser als 68° ist, so wird eine totale Reflexion des ordentlichen Strahles stattfinden und dieser Strahl in der Richtung nach r weitergehen; während der ausserordentliche Strahl bei d ungebrochen in den zweiten Krystall übertritt und bei e in der Richtung e E ∥ J i weitergeht.

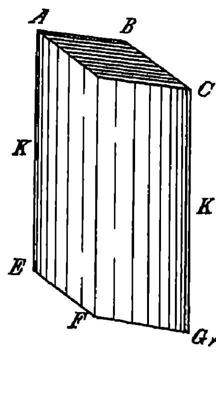


Fig. 675a.

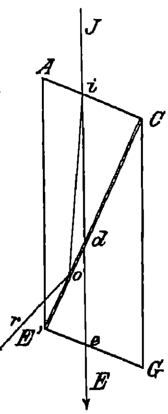


Fig. 675b.

$$O'_1 = \frac{1}{2} m\, m_1\, J_1 \sin^2 \varphi, \qquad O'_2 = \frac{1}{2} m\, m_1\, J_2 \sin^2 \varphi$$

$$E'_1 = \frac{1}{2} m\, m_1\, J_1 \cos^2 \varphi, \qquad E'_2 = \frac{1}{2} m\, m_1\, J_2 \cos_2 \varphi.$$

Sucht man nun diejenige Stellung des Analysators auf, bei welcher die Lichtmenge O'_1 gleich der von E'_2 ist, und bezeichnet α denjenigen Winkel, welchen man an einem auf der Drehungsaxe senkrecht stehenden Kreise abliest, so hat man: $\frac{J_2}{J_1} = \operatorname{tg}^2 \alpha$; für eine andere Stellung wird $E'_1 = O_2$ werden, und es wird für die dann gemachte Ablesung α' die Beziehung bestehen $\frac{J_1}{J_2} = \operatorname{tg}^2 \alpha'$, woraus ohne weiteres folgt, dass stets sein wird $\alpha' + \alpha = 90^0$. Wird auch als Polarisator ein Nicol'sches Prisma benutzt, so wird aus diesem, wie aus der Konstruktion desselben folgt, überhaupt nur der ausserordentlich gebrochene Lichtstrahl austreten und zwar mit der Intensität $E = {}^1/_2\, m\, J$. Aus dem Analysator aber, auf welchen sodann nur dieser Strahl auftrifft, wird derselbe nur noch mit der Intensität $E' = {}^1/_2\, m^2\, J \cos^2 \varphi$ austreten, wo φ denjenigen Winkel bedeutet, welchen die Ebenen der beiden Hauptschnitte mit einander einschliessen, und der Absorptionskoefficient beider Prismen als gleich angenommen ist. Wird der Winkel φ gleich Null, dann wird $E = m\, E'$ sein; wird $\varphi = 90^0$, dann ist E' gleich Null; d. h. das Licht wird vollständig ausgelöscht sein.

Wie man sieht, ist man auf diese Weise in der Lage, die von einer Lichtquelle ausgehende, ein Nicol'sches Prisma passirende Lichtmenge von der Hälfte ihrer ursprünglichen Intensität bis zum gänzlichen Verschwinden messbar zu verändern. Auf diesem Princip beruht das in der Astrophotometrie eine hervorragende Stelle einnehmende Zöllner'sche Photometer.

Führt man als Polarisator einen das auffallende Licht unter einem Winkel von nahe 35^0 reflektirenden Glasspiegel ein, so wird auch von diesem nur ein geradlinig polarisirter Lichtstrahl von der Intensität $J' = r\, J$ reflektirt werden, wenn r ein dem Reflexionsvermögen des Spiegels entsprechender Koefficient ist. Wird dieser Strahl von einem analysirenden Nicol aufgefangen, so wird aus demselben ebenfalls nur ein Strahl von der Intensität $E' = m\, r\, J \sin^2 \varphi$ austreten, wo φ den Winkel bedeutet, welchen die Einfallsebene des Lichtes mit dem Hauptschnitte des Nicol'schen Prismas einschliesst. Auch hier kann durch Drehung des letzteren die Intensität E' messbar verändert werden. Diese Methode ist ausser bei dem Wild'schen noch bei einigen anderen Photometern für technische Zwecke zur Verwendung gelangt, während die zuerst angeführte bei den von Pickering in Cambridge konstruirten Meridianphotometern benutzt wird.[1])

---

[1]) Bezüglich der strengen Gültigkeit des Kosinusquadratgesetzes ist zu vergleichen die betr. Abhandlung von F. E. Neumann, Pogg. Ann., Bd. 40, S. 497ff. und des Weiteren auch die Aufsätze von Dr. W. Grosse in Zschr. f. Instrkde. 1888 u. 1889, wo sich auch eine Reihe weiterer Litteraturangaben findet. Auch in Müller's Handbuch finden sich die strengen Formeln auf S. 288.

a. Das Photometer von Babinet.

Auf dem Princip der Reflexion beruht z. B. das Photometer von Babinet, welches schematisch in Fig. 676 dargestellt ist. Seine Einrichtung wurde eigentlich zuerst von Duboscq angegeben,[1]) sie ist die folgende: Die beiden zu vergleichenden Lichtbündel treten in die mit matten Glasplatten und mit messbar veränderlichen Diaphragmen verschlossenen Röhren ein, um von dem Plattensatz L, dessen Ebene den Winkel $CBA = 66^0$ halbirt, reflektirt oder durchgelassen zu werden. Das Doppelbündel BN geht sodann durch einen Soleil'schen Doppelquarz Q, dessen Hälften gleich stark nach rechts und nach links drehen und durch den aus einem Nicol bestehenden Analysator N. Sind die beiden einfallenden Bündel von ungleicher Intensität, so ist das Doppelbündel partiell polarisirt — nach Arago[2]) — und die beiden Hälften eines jeden der beiden Bilder des Analysators erscheinen verschieden gefärbt. Sind hingegen die einfallenden Bündel gleich intensiv, so ist das Doppelbündel unpolarisirt und die beiden Hälften eines Bildes des Analysators erscheinen gleich. Durch Variirung der Entfernungen der Lichtquellen oder der Dimensionen der lichteinlassenden Diaphragmen kann das Verhältniss der Intensitäten der einfallenden Bündel bestimmt werden.

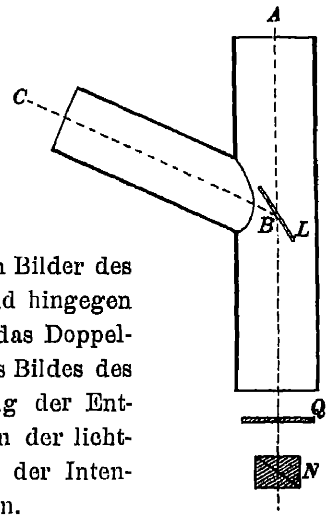


Fig. 676.

Der Apparat lässt an Einfachheit nichts zu wünschen übrig; fraglich ist es jedoch, ob er sich zu genauen Messungen eignet, da, wie leicht ersichtlich, die Gesammtmenge des zur Mischung kommenden Lichtes zu gross ist im Vergleich mit denjenigen gemischten senkrecht polarisirten Antheilen, auf die allein die Quarzplatte zu wirken im Stande ist. Die Empfindlichkeit wird danach nur eine geringe und dürfte der Apparat wohl auch nur zu Messungen an gleichgefärbten Lichtquellen zu benutzen sein.

b. Die Zöllner'schen Photometer älterer Konstruktion.

Auch Zöllner hat bei seinem ersten Photometer, welches nur zur Vergleichung der Sonne und des Mondes mit Jupiter und Venus verwandt wurde, die Polarisation durch Reflexion benutzt. Dieses Instrument zeigt die Fig. 677. Die Konstruktion desselben war folgendermaassen getroffen:[3])

„Auf einem Stativ C ist der Hauptheil des Apparates um die horizontale Axe AB drehbar und kann in jeder Zenithdistanz festgeklemmt werden. Eine Petroleumlampe F ist auf einem starken Arme befestigt und dreht sich im Azimuth zugleich mit dem ganzen Apparate um eine vertikale Axe. Das

[1]) Vergl. E. Verdet, Über die Wellentheorie des Lichtes, Bd. II, S. 391. Ähnliche Konstruktionen haben auch Arago, Bernard, Becquerel u. A. angegeben.

[2]) Arago, Oeuvres complets, Bd. X, S. 468 ff.

[3]) Müller, Photometrie d. Gestirne, S. 245.

Licht der Flamme a fällt durch ein Diaphragma r auf die Konvexlinse b, tritt aus dieser parallel aus, gelangt auf den kleinen Silberspiegel c, von diesem auf den Polarisationsspiegel f aus schwarzem Glase, dessen Normale mit der Axe DE den Polarisationswinkel für Glas einschliesst, und tritt endlich durch die Konvexlinse g und das Nicol'sche Prisma h in das Auge bei o. Der Spiegel f steht so, dass seine scharfe Kante das kreisförmige Gesichtsfeld halbirt, und wenn die Linse g auf diese Kante eingestellt ist, so erblickt man die eine Hälfte des Feldes durch das in der Ebene der Zeichnung polarisirte Licht der Flamme a beleuchtet. An dem Ende des Hauptrohres ist der ebenfalls aus schwarzem Glase gefertigte Polarisationsspiegel d an-

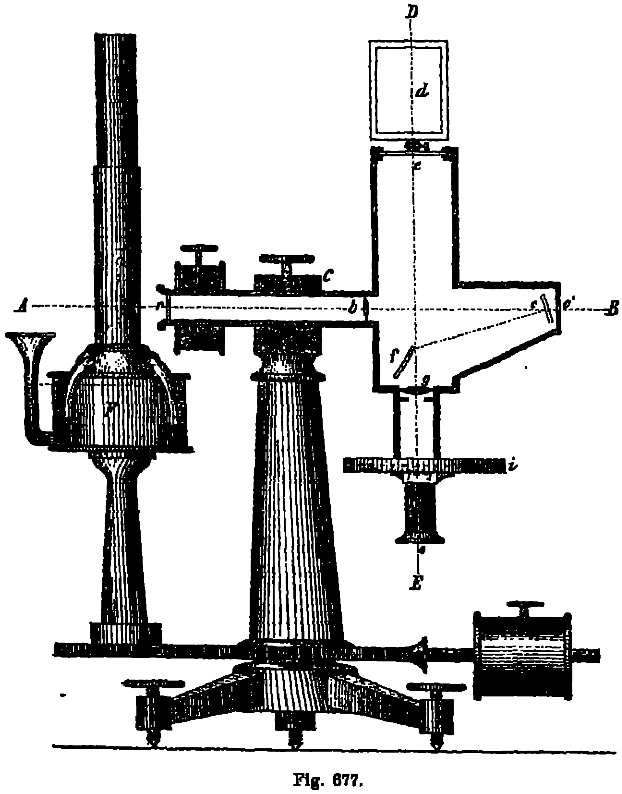


Fig. 677.
(Nach Carl, Repertorium, Bd. I.)

gebracht, und zwar so, dass seine Ebene senkrecht zu einer durch DE normal zur Zeichnungsfläche stehenden Ebene liegt, und dass ausserdem die Normale zu diesem Spiegel mit der Axe DE den Polarisationswinkel bildet. Das von d reflektirte Licht einer Lichtquelle geht bei f zur Hälfte vorbei und beleuchtet die zweite Hälfte des Gesichtsfeldes. Das Licht ist senkrecht zur Ebene der Zeichnung polarisirt und kann daher durch Drehung des Nicols h dem Lichte der Vergleichsflamme gleich gemacht werden. Die Berührung der beiden Hälften des Gesichtsfeldes ist so vollkommen, dass bei eintretender Gleichheit der Intensität das Gesichtsfeld als eine einzige leuchtende Scheibe erscheint. Das Quadrat der Tangente des Drehungswinkels

des Nicols, welcher an dem Kreise i abgelesen wird, giebt dann das Verhältniss der Helligkeit der beobachteten Lichtquelle zum Vergleichslichte. Um noch die oft störende röthlichgelbe Färbung der von der Lampe erleuchteten Hälfte zu beseitigen, wird in den Blechcylinder der Lampe ein Stück blauen Kobaltglases eingesetzt, welches der Flamme einen gelblichweissen Farbenton giebt. Handelt es sich um die Messung des Sonnenlichtes, so wird vor dem Spiegel d noch eine mattgeschliffene Glasplatte angebracht, um eine gleichförmige Erleuchtung zu erzielen; auch können bei e zur Schwächung des allzu intensiven Sonnenlichtes Blendgläser in den Strahlengang eingesetzt werden. Die Genauigkeit der Messungen ist bei diesem Apparate ausserordentlich gross. Nach ZÖLLNER beträgt der wahrscheinliche Fehler einer einzelnen Vergleichung zweier Lichtquellen nur etwa 2 bis 3 Procent des Helligkeitsverhältnisses. Sehr sorgfältig ist darauf zu achten, dass die zu untersuchenden Lichtquellen zunächst kein polarisirtes Licht enthalten, da sonst die Resultate erheblich verfälscht werden könnten."

In einer späteren, zu allgemeinen Messungen von Sternhelligkeiten bestimmten Form seines Photometers hat ZÖLLNER sowohl das direkte Licht der Gestirne, als auch das des Vergleichssternes durch Zwischenschaltung von Nicol'schen Prismen messbar verändert, doch ist diese Form ausser von ZÖLLNER selbst nicht in weitere Verwendung gekommen, vielmehr wird jetzt allgemein als Zöllner'sches Astrophotometer die in Fig. 678 dargestellte Anordnung des Instrumentes bezeichnet. Das Bild des Sternes wird unmittelbar von dem Objektiv O im Brennpunkte desselben bei b entworfen, da man durch die azimuthale Aufstellung des Instruments die Axe AB des Fernrohrs in jede beliebige Richtung bringen kann. Gleichzeitig wird aber durch das von der Lampe F ausgehende Licht ein Bildchen des kleinen Diaphragmas o′ in g und g′ erzeugt, nämlich das eine von der vorderen, das andere von der hinteren Fläche der unter 45° gegen die optische Axe geneigten planparallelen Glasplatte e e′. Das bei o′ eintretende Licht fällt zunächst auf die bikonkave Linse m und wird durch dieselbe in der Richtung von D nach C so hindurch gelassen, als ob es von einer weit entfernten oder sehr kleinen Öffnung herkäme. Das Licht geht dann der Reihe nach durch das Nicol'sche Prisma k, die planparallele Bergkrystallplatte l, deren Flächen senkrecht zur Axe geschliffen sind, weiterhin durch die beiden Nicol'schen Prismen i und h, und wird zuletzt durch die Sammellinse f nach den erwähnten Reflexionen wieder zu den Bildern g u. g′ vereinigt. Diese werden durch das Okular o betrachtet, mit welchem gleichzeitig auch das mit g u. g′ in derselben Ebene zu Stande kommende Sternbildchen b deutlich gesehen wird. Um g, g′ und b in dieselbe Ebene zu bekommen, muss entweder die Linse f oder das Objektiv selbst gegen die Mitte der Platte e e′ verstellbar sein. Das Nicol'sche Prisma h ist in dem mit dem Fernrohre verbundenen seitlichen Rohre fest und nimmt an dessen Bewegung theil. Zur Erreichung der grössten Helligkeit ist aber erforderlich, dass der Hauptschnitt dieses Prismas in der Ebene der Figur liegt. Die beiden Prismen i und k sowie die Platte l sind aber gegen h für sich drehbar, und diese Drehung ist vermittelst der Kreise n und n′ messbar. Der erstere Kreis, der

sogenannte Intensitätskreis, ist mit dem Fernrohre fest verbunden, während durch die Handhaben in ihm als Büchse i, l und k zugleich gedreht werden kann. Gewöhnlich ist er in seinen vier Quadranten von 0^0 bis 90^0 getheilt und zwar so, dass der Durchmesser 90, 90 dem Hauptschnitt des Krystalles i parallel ist, dadurch wird bewirkt, dass in dieser Stellung das aus i austretende Licht so polarisirt ist, dass es bei der Ablesung 0, 0 am Kreise durch das zweite Prisma h ganz ausgelöscht wird, während für jede andere Stellung seine Intensität proportional dem Quadrate des Sinus des abgelesenen Winkels ist. Man hat also, wie es auch sein muss, für vier symmetrische Stellungen des Prismas i (gleiche Winkelablesungen) die gleiche Intensität.

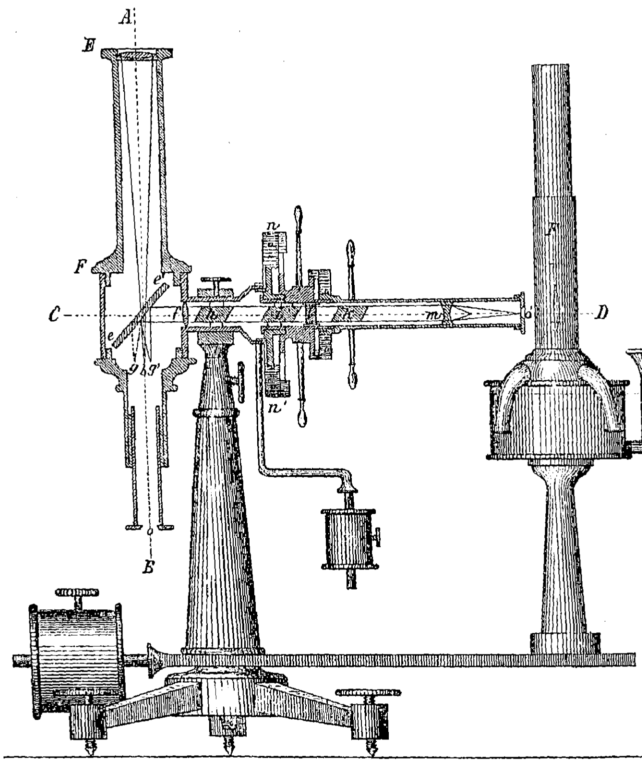


Fig. 678.
(Nach Carl, Repertorium, Bd. I.)

Die Linse m, sowie das Diaphragma bei o′ sind bei den neueren Instrumenten in demselben Rohre mit dem Prisma k befestigt und nehmen an der Drehung, welche am Intensitätskreise gemessen wird, theil. Sie haben den Zweck, den künstlichen Sternen g u. g′ eine beliebige Färbung zu geben. Das Prisma k ist nämlich auch für sich (gewöhnlich zusammen mit m und o′) gegen die anderen polarisirenden Medien drehbar, und der Winkel, den der Hauptschnitt von k mit demjenigen von i bildet, kann mittelst zweier Indices an einem besonderen, getheilten Kreise, dem Kolorimeterkreise, abgelesen werden. Ist dieser Winkel bekannt, und nimmt man eine bestimmte Dicke der Bergkrystallplatte (man wählt gewöhnlich 5 mm), so ist die Farbe

des Sternes unzweideutig charakterisirt. Die ganze Einrichtung dient in erster Linie dazu, die Farbe der künstlichen Sterne möglichst der der wirklichen Sterne gleich zu machen, sie kann aber auch zu direkten Farbenmessungen der Gestirne benutzt werden. Will man auf den letzteren Zweck von vornherein verzichten, so wäre es einfacher, l und k ganz fortzulassen und dafür ein geeignetes blaues Glas in den Gang der von der Lampe kommenden Strahlen einzuschalten, welches den künstlichen Sternen eine mittlere Sternfarbe giebt. Die mechanische Ausführung des Apparates würde dadurch erheblich vereinfacht werden.

Um auch Gestirne geringerer Helligkeit der Messung unterwerfen zu können, hat schon Zöllner sein Photometer mit einem Refraktor in Ver-

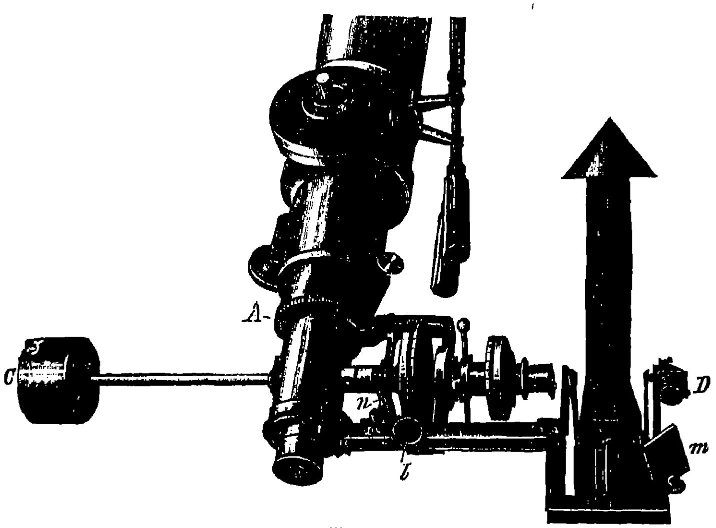


Fig. 679.
(Aus Müller, Photometrie der Gestirne.)

bindung gebracht und zu diesem Zweck das Instrument möglichst leicht gebaut. Eine solche Anordnung zeigt die Fig. 679. „In dem Ringe A, welcher an Stelle des Okulars an den Refraktor angeschraubt wird, dreht sich das Photometer frei, so dass die Axe CD bei jeder Stellung des Fernrohrs horizontal bleiben und die bewegliche Lampe genau vertikal hängen kann. Es ist so eingerichtet, dass das Licht der Flamme zur Beleuchtung des Intensitätskreises benutzt wird, indem dasselbe mittelst des Prismas D und der Spiegel m und n auf die Theilung geworfen wird; die Ablesung geschieht mit Hülfe der schwach vergrössernden Lupe l."

c. Das Potsdamer Photometer nach Zöllner's Princip.

Mit wesentlichen Verbesserungen versehen hat neuerdings Wanschaff in Berlin für das astrophysikalische Observatorium in Potsdam ein auf den Zöllner'schen Principien beruhendes Instrument nach den Angaben von Müller und Kempf gebaut, welches hier zum Schluss als das vollkommenste seiner Art noch des Näheren beschrieben werden mag.[1])

[1]) Publ. d. astrophysikal. Observ. zu Potsdam, Bd. VIII, S. 17ff.

„Auf dem festen, durch drei grosse Fussschrauben verstellbaren Untersatz A, Fig. 680, läuft mittelst dreier Rollen, von denen die eine in der Figur bei a sichtbar ist, um einen starken Zapfen in der Mitte drehbar, der

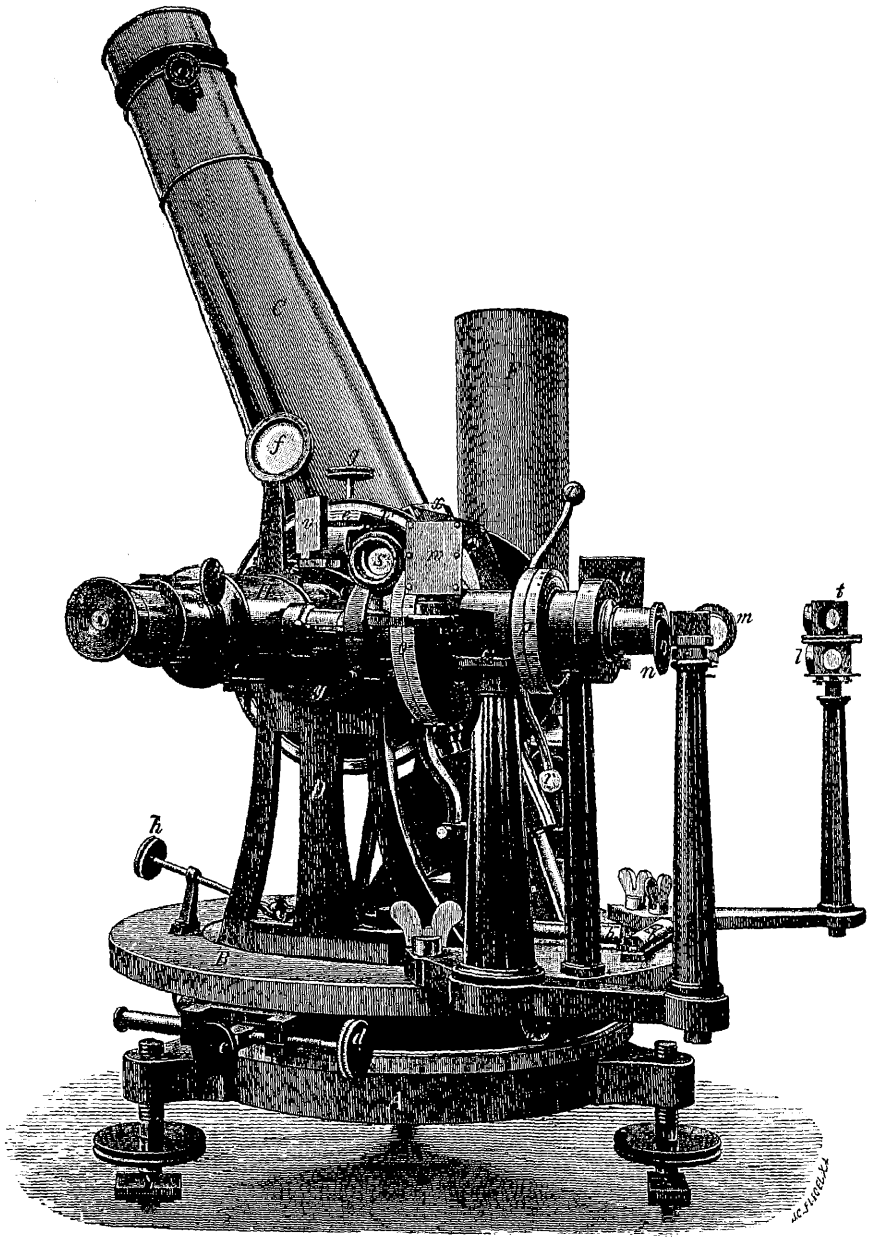


Fig. 680.
(Aus den Publ. d. astrophysikal. Observ. zu Potsdam, Bd. VIII.)

ganze obere Theil des Instrumentes, dessen genaue Horizontalstellung erforderlichen Falls an zwei kleinen auf der Grundplatte B angebrachten Niveaus b b geprüft werden kann. Der Betrag der Azimuthbewegung wird

mit Hülfe eines an B befestigten Index (in der Figur nicht sichtbar) an der auf A befindlichen Kreistheilung bis auf Zehntelgrade abgelesen; c und d sind Klemmschraube und Feinbewegung für diese Drehung. Das gebrochene Fernrohr C ist in den Lagern D mittelst sehr dicker in der Mitte durchbohrter Zapfen beweglich und fest verbunden mit dem Höhenkreis E (von 10 zu 10 Minuten getheilt), welcher an einem auf dem Lager D sitzenden Nonius e durch die Lupe f abgelesen werden kann. Die Schrauben g und h dienen zum Klemmen des Fernrohrs und zur Feinbewegung in Höhe. Auf der dem Okular entgegengesetzten Seite des Apparates und für den Beobachter durch den Höhenkreis fast vollständig verdeckt, befindet sich die zur Hervorrufung der künstlichen Sterne bestimmte Lichtquelle, eine Petroleumlampe mit Rundbrenner, welche durch einen hohen Blechcylinder F mit doppeltem Mantel vortrefflich gegen den Wind geschützt ist. Durch eine seitlich in diesem Cylinder angebrachte Öffnung fällt das Licht der Lampe auf das total reflektirende Prisma i, von diesem auf das Prisma k und von diesem endlich durch den seitlichen Theil G des Photometers, welcher auf einer starken Säule ruht und die drei Nicolprismen nebst der Bergkrystallplatte enthält, auf die im Okulartheil H befindliche planparallele Glasplatte. In den Gang der von der Lampe kommenden Lichtstrahlen sind bei l und m noch zwei Linsen eingeschaltet, welche das Licht sammeln und auf der Diaphragmenscheibe n ein scharfes, rundes Lichtbildchen entwerfen. o und p sind Intensitäts- und Kolorimeterkreis, von denen der erstere durch die Handgriffe r bewegt und an einem festen Nonius mittelst der Lupe s auf Zehntelgrade abgelesen wird. Die Beleuchtung der sämmtlichen Kreise des Instruments wird durch die Photometerlampe selbst bewirkt. Zu diesem Zweck ist unmittelbar über dem total reflektirenden Prisma i ein zweites Prisma t, etwas geneigt gegen das erstere, angebracht, welches ebenfalls Licht durch die seitliche Öffnung des Blechcylinders empfängt und dasselbe vermittelst der beiden Spiegel u und v auf die Höhenkreistheilung sendet. Wird der Spiegel u, welcher um ein Charnier an einer Säule drehbar ist, zur Seite geklappt, so geht das vom Prisma t kommende Licht an ihm vorüber und fällt auf den Spiegel w, von welchem es auf den Nonius des Intensitätskreises oder, wenn man diesem Spiegel eine kleine seitliche Drehung giebt, auf den Kolorimeterkreis reflektirt wird.

Die ganze Einrichtung des Apparates gewährt dem Beobachter grosse Bequemlichkeit, insofern derselbe, ungestört von jedem blendenden Nebenlicht, in bequemer Stellung stets in derselben Richtung in das Fernrohr blicken und alle Einstellungen sowie Ablesungen ohne Zuhülfenahme einer Beleuchtungslampe ausführen kann. Die sehr stabile Konstruktion ermöglicht es auch, dem Instrument erforderlichen Falls eine feste Aufstellung im Meridian zu geben und die Sterne beim Durchgang durch denselben zu beobachten.

Das Photometer ist mit drei verschiedenen Objektiven ausgerüstet, welche Helligkeitsmessungen an Sternen von der siebenten Grössenklasse bis zu den hellsten Planeten gestatten.[1]) Das grösste Objektiv hat eine Öffnung von

[1]) Auch Zöllner hatte schon früher die Objektive auswechselbar eingerichtet.

67 mm und eine Brennweite von 700 mm und eignet sich vorzugsweise zur Beobachtung der Sterne von der fünften bis siebenten Grössenklasse. Das zweite Objektiv hat 36,5 mm Öffnung bei 350 mm Brennweite und wird zur Messung von Sternen der dritten bis fünften Grössenklasse verwendet; dasselbe sitzt am unteren Ende eines langen Rohres, welches in das Rohr C hineingesteckt werden kann und mittelst des an seinem oberen Ende befindlichen Gewindes in die für das grosse Objektiv bestimmte Fassung eingeschraubt wird. Das Objektiv kommt fast unmittelbar vor das total reflektirende Prisma des gebrochenen Fernrohrs, etwa an die in der Figur durch den Buchstaben x bezeichnete Stelle. Das dritte Objektiv endlich von 21,5 mm Öffnung und 137 mm Brennweite ermöglicht die Messung der hellsten Sterne. Um dieses Objektiv bequem mit den anderen vertauschen zu können, ist der Okulartheil H bei y mittelst Bajonetteverschlusses an den Lagerbock D befestigt und kann mit Leichtigkeit von da abgenommen und wieder angesetzt werden; an dem Ende dieses Stückes wird das kleine Objektiv eingeschraubt. Die Lichtstrahlen vom Stern fallen also erst nach dem Durchgang durch das offene Rohr C und nach der Zurückwerfung von dem total reflektirenden Prisma auf das Objektiv. Dasselbe kann auch zur Beobachtung der grossen Planeten benutzt werden, da es vollkommen punktartige Bilder von denselben liefert, nur bedarf das Licht dann noch der Schwächung, was durch Blendgläser bewirkt wird, die in geeigneten Fassungen in eine vor dem Objektiv angebrachte Hülse gesteckt werden können.

Für alle drei Objektive wird ein und dasselbe Okular benutzt, welches mit denselben die Vergrösserungen 17,5, 8,5 und 3,3 liefert. Okular und die beiden grössten Objektive sind durch Trieb verstellbar."

Zöllner hatte zuerst versucht, sein Photometer durch Konstruktion einer Lampe (Gas), welche unter verschiedenen Verhältnissen gleiche Leuchtkraft besitzen sollte, für absolute Messungen brauchbar zu machen, welche unmittelbar miteinander zu vergleichen sein würden. Es zeigte sich aber bald, dass diese Absicht nicht erreicht werden konnte. An die Stelle der Gaslampe trat eine Petroleumlampe, deren Flammenhöhe durch das Diopter unter steter Kontrole gehalten wurde. Es kann aber trotzdem das Zöllner'sche Photometer nur zur Vergleichung verschiedener Sterne untereinander, also zu Anschlussbeobachtungen benutzt werden, aber dennoch wird bei richtiger Auswahl der Vergleichssterne dadurch seine Brauchbarkeit nicht beeinträchtigt. Der durch das Lampenlicht erzeugte künstliche Stern (resp. die beiden Sterne) dienen eben nur zur Übertragung der verschiedenen Messungen auf einen oder mehrere kurz vorher oder nachher gemessene Anhaltsterne, und für so kurze Intervalle kann wohl die Konstanz der künstlichen Sterne vorausgesetzt, resp. eine eventuelle Schwankung eliminirt werden.[1]) Dass vielleicht im Laufe der Zeit die Frage nach einer wirklichen konstanten Lichtquelle, welche nicht nur in der Photometrie des Himmels, sondern auch in sehr

[1]) Ceraski in Moskau hat eingehende Untersuchungen über die Konstanz der künstlichen Sterne ausgeführt und gefunden, dass dieselben bei geeigneten Vorsichtsmaassregeln (Flachbrenner, gutes Petroleum, grösste Reinlichkeit etc.) für mehrere Stunden (ja bis zu 10) vollkommen verbürgt werden kann. Auch die Erfahrungen von Müller und Kempf stimmen

vielen technischen Disciplinen eine besondere Rolle spielt, durch geeignete Einrichtung der elektrischen Glühlampen zu lösen sein wird, ist keineswegs ausgeschlossen und es würde dies auch von Seiten der Astronomen mit Freuden begrüsst werden; zumal gerade bei dem Wechsel der Witterungsverhältnisse namentlich bei windigem Wetter eine solche Lichtquelle grosse Dienste leisten würde.[1])

Das verschiedene Aussehen der künstlichen und natürlichen Sternbilder ist, so gering im Zöllner'schen Photometer der Unterschied auch ist, doch in physiologischer Hinsicht ein Mangel dieses Instruments, dem ohne Weiteres nicht abgeholfen werden kann. MÜLLER sagt über diesen Punkt und die zulässigen Helligkeitsdifferenzen bei exakten Messungen das Folgende:

„Von der grössten Wichtigkeit ist die Wahl der Diaphragmenöffnung, die sich stets nach der speciellen Aufgabe, die man im Auge hat, richten sollte. Man wird am besten eine solche Öffnung benutzen, dass die Bildgrösse der künstlichen Sterne etwa in der Mitte liegt zwischen den Bildgrössen der hellsten und der schwächsten Sterne, die man beobachten will. Je grösser die zu messende Helligkeitsdifferenz ist, desto mehr wird sich die Verschiedenheit des Aussehens geltend machen, und es ist bedauerlich, dass der dadurch herbeigeführte Fehler die Resultate stets in einem bestimmten Sinne beeinflusst. Man misst die schwachen Sterne verhältnissmässig zu hell und die hellen verhältnissmässig zu schwach, und die Folge davon ist, dass man im Allgemeinen ein bestimmtes Helligkeitsintervall mit dem Zöllner'schen Photometer zu klein findet. Um diesem Mangel nach Möglichkeit abzuhelfen, ist es streng zu vermeiden, grosse Helligkeitsdifferenzen direkt zu messen. In dieser Beziehung ist etwa ein Helligkeitsintervall von drei Grössenklassen als Grenze anzusehen, und es sollte als Regel gelten, wenn es irgend angeht, nur Ablesungen zwischen 10^0 und 40^0 am Intensitätskreise zu benutzen. Wenn es erforderlich ist, grössere Unterschiede zu messen, so ist es entschieden rathsam, das Intervall zu theilen und verschiedene Objektive und Diaphragmenöffnungen, eventuell auch Blendgläser, zu verwenden und zur Übertragung Sterne von mittlerer Helligkeit zu benutzen."

Die beiden Bilder des künstlichen Sternes sind nicht genau gleich hell; man wählt am besten zur Vergleichung das von der vorderen Glasfläche oder Planglasplatte reflektirte Bildchen (das hellere). Früher hat man wohl auch versucht, den natürlichen Stern zwischen beide Bilder des künstlichen einzuschalten, nach MÜLLER ist das erstere Verfahren aber das bessere. Auch empfiehlt dieser, die Vergleichung, wenn möglich in verschiedenen

damit überein. Ceraski hat auch am Zöllner'schen Photometer einige Veränderungen vorgenommen. Das betreffende Instrument findet sich ausführlich beschrieben und abgebildet in dem angeführten Werke. Vergl. Ann. de l'observ. de Moscou, Ser. 2, Vol. I, Livr. 2, S. 13. Müller l. c. S. 251.

[1]) Man vergleiche die Versuche, welche in dieser Richtung vor einigen Jahren in der physik.-techn. Reichsanstalt gemacht wurden. Es zeigen dort die Untersuchungen von Lummer und Brodhun, dass bei einer Branddauer von über 150 Stunden sich die Leuchtkraft etwa innerhalb 1 % konstant erhalten lässt. Siehe Zschr. f. Instrkde. 1890, S. 128.

[2]) Müller l. c. S. 252—253.

Lagen der beiden Sterne und selbstverständlich immer in allen vier Stellungen des Nicols auszuführen.

Die Genauigkeit der Messungen hängt in gewissem Maasse von dem Drehungswinkel des Nicols ab, man findet aber, dass in der Praxis in dieser Hinsicht ein weiter Spielraum gegeben ist, indem Einstellungen zwischen 5^0 und 50^0 Drehungswinkel mit nahe gleicher mittlerer Unsicherheit gemacht werden, und dass der mittlere Fehler einer guten Messung auf nicht ganz $^1/_{10}$ Grössenklasse zu veranschlagen ist, was bei geeigneter Wahl der Sterne und des Diaphragmas für die künstlichen Sterne etwa 5—10$^0/_0$ der Gesammthelligkeit ausmachen würde.

d. Die Photometer des Harvard College.

Von den auf ähnlichen Principien beruhenden Photometern von Wild und Chacornac ist das erstere bisher wohl nur zu technischen Zwecken verwandt worden und das letztere ist in seiner Anwendung so umständlich, dass es ausser von seinem Erfinder wohl auch nicht benutzt worden ist und benutzt werden dürfte.[1])

Von weit grösserer Bedeutung sind die Instrumente geworden, welche Pickering zu seinen ausgedehnten astrophotometrischen Arbeiten angegeben und benutzt hat.

Zunächst hatte Pickering ein Instrument angewendet, welches seiner inneren Einrichtung nach fast ganz mit dem oben (S. 599) beschriebenen Mikrometer von Rochon übereinstimmt. Die nach dem Durchgang der Lichtstrahlen zweier nahe stehender Sterne zu Stande kommenden Bilder derselben werden vermittelst der Bewegung des Prismas längs der optischen Axe des Fernrohrs, an dem das Instrument befestigt wird, auf bequeme Distanz gebracht und dann bezüglich ihrer Helligkeit, durch ein vor das Okular befestigtes Nicol'sches Prisma, untersucht, in ganz ähnlicher Weise, wie das bei Zöllner geschieht. Man bringt das von den ordentlich gebrochenen Strahlen des einen Sternes erzeugte Bild auf gleiche Intensität mit dem von den ausserordentlich gebrochenen Strahlen des anderen Sternes erzeugten. Das kann wieder in vier verschiedenen Stellungen geschehen, welche alle an dem betreffenden Kreise abzulesen sind, um Centrirungs- und andere Fehler des Instrumentes zu eliminiren. Da aber mittelst dieses Apparates nur sehr nahe stehende Sterne mit einander verglichen werden können, hat bald darauf Pickering demselben eine andere Anordnung gegeben,[2]) bei welcher er auch die Theilung des Lichtes vermieden hat, sodass auch schwache Sterne der Beobachtung zugänglich werden. Der Apparat wird an Stelle des eigentlichen Okulars an einen Refraktor angeschraubt.

---

[1]) Wegen näherer Angaben über diese Instrumente verweise ich bezüglich des ersteren auf die verschiedenen Publikationen in Pogg. Annalen und bezüglich des letzteren auf Comptes Rendus Bd. 58, S. 657, sowie auf die kurzen Mittheilungen in Müller l. c. S. 255 ff.

[2]) Das erstere Instrument ist bei Müller auf S. 260 beschrieben und abgebildet und in verbesserter Form im Astrophysical Journal, Bd. II, S. 89, während das zuletzt erwähnte in den Ann. of the Astron. Observ. of Harvard Coll., Bd. XI, Th. 2, S. 195 und bei Müller auf S. 262 beschrieben und abgebildet ist.

Da aber auch dieses Instrument erhebliche Mängel aufweist, hat PICKERING zu seinen ausgedehnten photometrischen Beobachtungen eines grossen Theils der Gestirne sein sogenanntes Meridianphotometer benutzt, welches hier noch näher beschrieben werden soll.

Dieses Instrument ist in seiner äusseren Form demjenigen des von STEINHEIL angegebenen Meridiankreises ähnlich, d. h. das oder besser die Fernrohre liegen von Ost nach West und die betreffenden Spiegel und Prismen, welche das Licht der den Meridian passirenden Sterne in das Fernrohr reflektiren, befinden sich vor den Objektiven und lassen sich vor diesen für beliebige Zenithdistanzen einstellen. An dem gemeinsamen Holzkasten K, Fig. 681, sind an dessen östlichem Ende zwei Fernrohrstutzen F u. F′ von ungleicher Länge angesetzt, welche die Objektive von je 105 mm Öffnung enthalten. Vor diesem sind auf drehbaren Ringen die beiden grossen etwas elliptisch gestalteten Planglasspiegel (Silberspiegel) S und S′ von 165 : 135 mm Axenlänge bei einer Dicke von 23 mm mit einer Neigung von 45° gegen die Absehenslinie und gegen die Meridianebenen befestigt. Mit ihren Ringen

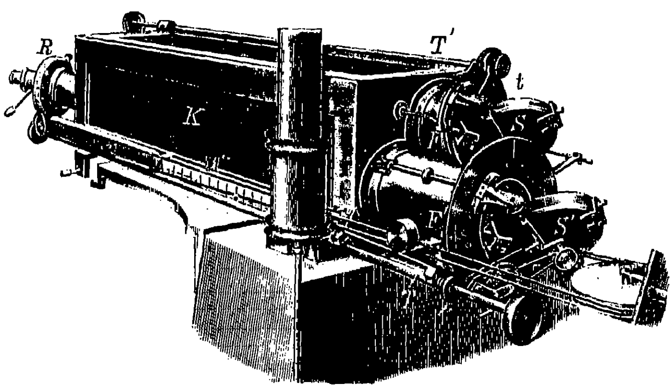


Fig. 681.

zugleich kann den Normalen dieser Spiegel durch Vermittlung der Gestänge T und T′ und des Sektors t sowie des Zahntriebes bei t′ die nöthige Neigung gegen den Horizont gegeben werden, damit ein Gestirn von bestimmter Deklination bei seinem Durchgang durch den Meridian im Gesichtsfeld erscheint. Die beiden Objektive haben etwas verschiedene Brennweite, das südliche etwa 166 cm und das nördliche 145 cm, so dass die von ihnen erzeugten Bilder doch in derselben Ebene zu Stande kommen.

Dadurch, dass das südliche Objektiv und sein Spiegel S′ weiter nach Osten hervorragt, können mit ihm alle Sterne in der Nähe des Meridians beobachtet werden. Die Bewegung dieses Spiegels um die Axe des zugehörigen Fernrohres kann durch Handgriffe sowohl vom Beobachter selbst, als auch von dem die Aufzeichnungen besorgenden Gehülfen bewirkt werden. Die Neigung der Spiegel gegen die optischen Axen kann auch etwas geändert werden, um so die Sternbilder in der Mitte des Gesichtsfeldes zu halten. Diese Bewegung wird durch geeignete Schnurläufe auf jeder Seite des Kastens bewirkt, und die jeweilige Stellung kann mittelst Indices, die mit den Schnüren

verbunden sind, an Skalen abgelesen werden, die so getheilt sind, dass ein Theilungsintervall gewissermassen einem Kollimationsfehler von einer Zeitminute entspricht. (Die Skala für den Spiegel S′ ist bei M sichtbar.) Der nördliche Spiegel, welcher nur zur Beobachtung des als Vergleichsstern gebrauchten Polsternes dient (PICKERING wählte λ Urs. minoris dazu), hat in jeder Hinsicht eine etwas geringere Bewegungsamplitude.

Wie aus der schematischen Zeichnung, Fig. 682, welche die in optischer Beziehung ganz gleiche Einrichtung des zuerst gebrauchten Photometers darstellt, ersichtlich ist, treffen die Lichtstrahlen nach Durchgang durch die Objektive zunächst auf ein achromatisches Doppelbildprisma K, von welchem die eine, vordere Hälfte aus Doppelspath, die andere aus Glas besteht. Dadurch kann die Koincidenz der ausserordentlichen Strahlen des von dem einen Objektiv kommenden Lichtkonus mit dem ordentlichen vom anderen Objektiv kommenden bewirkt werden, während die beiden anderen Strahlen durch das als Analysator dienende Nicol N aus dem Gesichtsfeld, welches durch

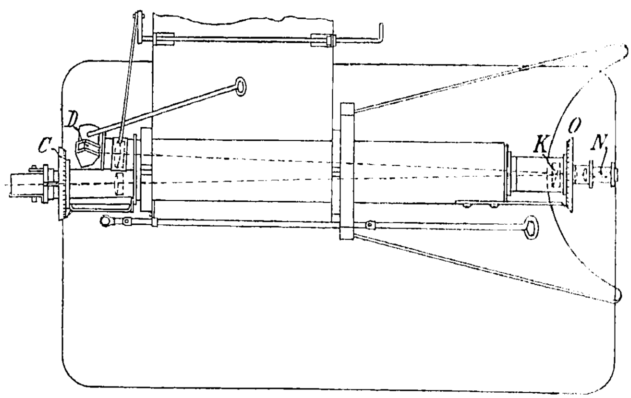


Fig. 682.

eine entsprechende Blende, die zugleich als Schutz dieses Prismas dient, begrenzt wird, ausgeschieden werden.

Mit Rücksicht auf die oben angegebenen optischen Gesetze ist nunmehr der Vorgang bei der Messung der Lichtintensitäten leicht zu übersehen, wenn man weiter bemerkt, dass der Okularstutzen, welcher das Nicol enthält, mittelst des Kreises O messbar um die optische Axe gedreht werden kann. Die Einstellung des zu beobachtenden Gestirnes erfolgt am Kreise C, während das Licht des Vergleichssterns durch das besonders bewegliche Prisma bei D in das Fernrohr reflektirt wird. Um einwurfsfreie Beobachtung zu erhalten, muss dieses Meridian-Photometer verschiedenen Bedingungen entsprechen, welche zum Theil schon bei seiner Zusammensetzung erfüllt werden müssen. Die beiden Lichtkegel sollen auf dem Wollaston'schen Prisma (welches sich nahe in der Brennebene befindet) zur Koincidenz gelangen; durch die Drehung des Doppelspaththeiles wird die Distanz der beiden wirklich zu Stande kommenden Bilder geändert, während eine Drehung des Glasprismas eine gemeinsame Drehung hervorbringt. Das Zusammenfallen der

beiden Lichtkegel kann am besten wahrgenommen werden, wenn man an Stelle des Nicols ein gewöhnliches Okular einfügt und die Bilder dann betrachtet. Das an Pickerings Instrument benutzte Okular vergrösserte in Verbindung mit dem Objektiv von längerer Brennweite etwa 28 Mal. Ausserdem muss den Axen der Spiegel die richtige Neigung zu den optischen Axen ihrer Fernrohre gegeben werden, was ebenfalls am besten durch Beobachtung der von ihnen erzeugten Sternbilder geschehen kann, wenn vorher schon die Axen der Fernrohre, welche ja etwas gegen einander geneigt sind, richtig orientirt sind. PICKERING beschreibt in der betreffenden Publikation diese Korrektion ausführlich, an dieser Stelle würde aber ein näheres Eingehen zu weit führen.[1])

Auch bezüglich der verschiedenen Mängel und Vorsichtsmaassregeln, welche man bei Benutzung dieses Photometers mit in den Kauf zu nehmen resp. zu beachten hat, muss ich hier auf die vorzügliche Darlegung bei MÜLLER verweisen.[2]) Es mag nur noch erwähnt werden, dass, wenn die Helligkeit des jeweils zu vergleichenden Sternes gleich J und die des Polsternes gleich J_0 gesetzt und der am Messungskreise O, Fig. 682, abgelesene Winkel φ beträgt, für den Fall, dass die Bilder beider Sterne gleich hell sind, das Verhältniss der Sternhelligkeiten sich bestimmt zu $\frac{J}{J_0} = \mathrm{tg}^2\,(\varphi - \varphi_0)$, wo φ_0 die Ablesung am Kreise ist, wenn der Vergleichsstern zum Verschwinden gelangt. Des Lichtverlustes wegen, welcher durch die Reflexion und namentlich durch die Theilung des Lichtes bei der ersten Brechung desselben bedingt wird, wird die Anwendung selbst eines Instrumentes mit so grossen Objektiven, wie sie in Cambridge benutzt wurden, doch nur auf Sterne bis zu etwa der siebenten Grössenklasse beschränkt.

2. Auslösch-Photometer.

Die zweite grosse Klasse der Photometer wird gebildet durch diejenigen Instrumente, bei denen die Intensität des Sternenlichtes bestimmt wird durch den Moment des Verschwindens des Gestirnes, mag dieses nun bewirkt werden einmal durch Verringerung der Öffnung des Fernrohres oder zweitens durch Zwischenschaltung absorbirender Medien.

A. Das Verschwinden des Gestirns wird durch Abblendung der Objektivöffnung bewirkt.

Nach dem zuerst genannten Princip sind unter anderen die Photometer von KÖHLER, DAWES, KNOBEL, THURY und LAMONT, ebenso die von HIRSCH und LOEWY eingerichtet, von welchen sich die ersteren von denen in zweiter Linie angeführten nur durch den Ort, an welchem die Blende in den Lichtkegel eingeschoben wird, unterscheiden.

[1]) Ann. of the Astron. Observ. of Harvard Coll., Bd. XXIII, Th. 1, S. 3.
[2]) Müller l. c. S. 265.

a. Die Photometer nach Köhler und Knobel.

Das Köhler'sche Photometer[1]) findet sich beschrieben in Bodes Astronomischem Jahrbuch für 1792, S. 233, und dürfte eines der ältesten überhaupt zu photometrischen Bestimmungen an Gestirnen verwendete sein. Das Instrument besteht aus einem Rahmen R, Fig. 683, welcher vor dem Objektiv des Fernrohrs befestigt werden kann. In demselben bewegen sich zwei Schieber mittelst Zahnrad und Trieb symmetrisch nach zwei entgegengesetzten Seiten, direkt über einander, wie aus der Zeichnung leicht ersichtlich. Das Trieb hat eine längs des Fernrohrs geführte Stange als Axe, so dass die Bewegung desselben vom Okular aus geschehen kann. In den beiden Schiebern A und B befindet sich je eine quadratische Öffnung von gleicher Grösse, deren eine Diagonale in der Bewegungsrichtung liegt. Fallen die beiden Öffnungen genau zusammen, so befinden sie sich in der Mitte vor dem Objektiv und die Menge des auf dasselbe gelangenden Lichtes hat ihr Maximum.

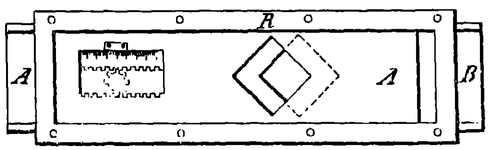


Fig. 683.

Werden die Schieber zur Seite bewegt, so wird sich die freie Öffnung allmählich verkleinern, aber in ihrer Form sich immer ähnlich bleiben. An einer kleinen Skala kann direkt die Grösse der jeweiligen Diagonale abgelesen werden und das Quadrat dieser giebt das Maass für die Öffnung ab. Werden nun zwei zu vergleichende Sterne nach einander zum Verschwinden gebracht durch Verkleinern der Öffnung, so werden sich deren Helligkeiten offenbar umgekehrt verhalten wie die Quadrate der abgelesenen Diagonalen. An Einfachheit lässt dieses Instrument nicht viel zu wünschen übrig, nur wird die Verschiedenheit der Beugungswirkungen das Resultat erheblich beeinflussen.[2]) Reissig hat an Stelle der beliebig zu verändernden Öffnung eine Reihe von Ausschnitten in einer Blendscheibe benutzt, was offenbar nicht als Fortschritt bezeichnet werden kann.[3])

In ganz ähnlicher Weise wie Köhler hat in neuerer Zeit E. B. Knobel die Abblendung der Objektivöffnung in Anwendung gebracht, nur verwendet er keine quadratischen Öffnungen, sondern aus Gründen, welche aus der Theorie der Beugung hervorgehen, eine einem gleichseitigen Dreieck entsprechende Abblendung. In Fig. 684 ist dieses Instrument dargestellt, welches

[1]) Auch François Maire und Lampadius konstruirten solche Photometer, die aber auf Gestirne keine Anwendung gefunden haben. Vergl. darüber Müller l. c. S. 180.

[2]) Köhler konnte mit seinem Instrument noch Sterne von 9—10 Grösse erkennen. Indem er die Diagonale in 1000 Theile theilte, beobachtete er am 23. April 1786, dass Arctur verschwand, wenn die Öffnung noch 12 Theile betrug, α Leonis schon bei 29 Theilen, β Leonis bei 39, η Bootis bei 51 und 43 Com. Beren. bei 175 Theilen. Die Helligkeiten dieser Sterne würden sich also verhalten nahe umgekehrt wie die Quadrate vorstehender Zahlen.

[3]) Bodes Astron. Jahrbuch für 1811, S. 250.

Knobel in den Monthly Notices des Näheren beschreibt.[1]) In dem vor dem Objektiv befestigten Rahmen H bewegen sich zwei Schieber über einander, von denen der eine A einen Ausschnitt von der Form eines gleichseitigen Dreiecks hat und der andere B die Form einer einfachen Platte, welche an der nach dem anderen Schieber gerichteten Kante gut gerade geschliffen und ähnlich wie ein Lineal abgeschrägt ist. Beide Schieber lassen sich durch eine gemeinschaftliche Schraube so gegeneinander bewegen, dass der Schwerpunkt der freien (immer gleichseitigen) Öffnung stets mit der optischen Axe des Fernrohrs zusammenfällt. Das wird dadurch bewirkt, dass man der Schraube zweierlei Gewinde giebt und zwar müssen die Ganghöhen dieser Gewinde nach einfachen geometrischen Gesetzen so beschaffen sein, dass das die gerade Schiene bewegende Gewinde dem anderen bezüglich der Richtung entgegengesetzt geschnitten ist und nur eine halb so grosse Ganghöhe hat wie das erstere.

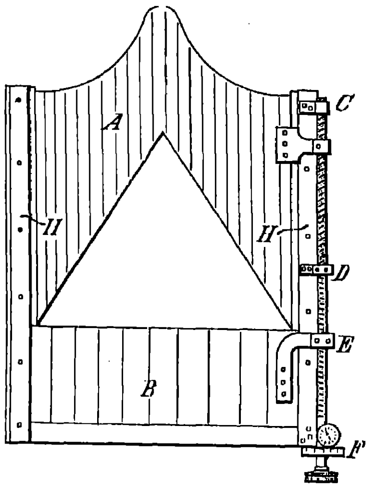


Fig. 684.

Die Schraubenspindel selbst ist bei C und D gegen Längsverschiebungen durch geeignete Fassung gesichert. Eine Mikrometertrommel E gestattet die Verschiebungen und damit die Höhe der benutzten Öffnung abzulesen. Hier ist also, ebenso wie bei Köhler, die Helligkeit der bis zum Verschwinden abgeblendeten Gestirne sehr nahe umgekehrt proportional dem Quadrat der Dreiecksseite oder dem der Höhe der Blendenöffnung.

b. Photometer mit Kreisfächer oder Gitterblenden.

M. Thury hat an die Stelle der geradlinigen Figur als Blendfigur, wie es theoretisch auch gewiss vorzuziehen ist, die Kreisblende gesetzt. Er wendet eine ähnliche Einrichtung an, wie sie heute in der Photographie allgemein als Irisblenden bekannt sind. Nur die Art, wie er die Öffnung, welche streng genommen immer ein Polygon bleibt, erweitert und verengt, ist eigenthümlich. Ich verweise aber hier, um nicht allzu ausführlich bei einem Gegenstande zu verweilen, der anderweit eine erschöpfende Darstellung gefunden hat, auf das, was Müller über dieses photometrische Verfahren sagt.[2]) Es mag nur noch erwähnt werden, dass Thury für sehr helle Sterne noch eine Schwächung des Lichtes durch eine mehrmalige Reflexion in der Nähe des Okulars eintreten lässt, deren Wirkung aber sodann als Konstante bei der Messung in Rücksicht gezogen werden muss.

Bouguer und Lamont haben fächerförmige Abblendung empfohlen und dazu besondere Apparate konstruirt. Eine diesen Vorrichtungen ähnliche ist

[1]) E. B. Knobel, On a new Astrometer (Monthly Notices, Bd. XXXV., S. 100 u. 381).
[2]) Müller l. c. S. 173.

in Potsdam im Gebrauch und wird von Müller wie folgt beschrieben:[1]) Sie besteht aus drei auf einander gesteckten Metallkappen, Fig. 685, von denen die unterste fest mit der Objektivfassung verbunden ist, während die beiden anderen, einzeln oder zusammen, um die erstere gedreht werden können. An zwei Kreistheilungen lässt sich der Betrag der Drehungen ablesen. Die beiden unteren Kappen haben je vier sektorförmige Ausschnitte von 60° Öffnungswinkel, die dritte Kappe besitzt vier Ausschnitte mit Winkeln von 70°. Man kann durch diese Anordnung das Objektiv von $^2/_3$ bis auf $^1/_9$ der vollen Öffnung abblenden und daher eine Lichtschwächung von ungefähr zwei Grössenklassen hervorbringen.

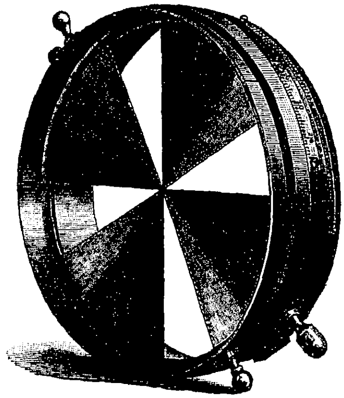


Fig. 685.
(Aus Müller. Photometrie d. Gestirne.)

An die Stelle dieser Blenden kann man mit Vortheil auch das Objektiv ganz gleichmässig bedeckende Gitter von verschiedener Weite setzen, nur wirken da die stark auftretenden Beugungserscheinungen hindernd und andererseits ist die „Aichung" der verwendeten Gitter mit Umständen verknüpft. Dergleichen Versuche sind z. B. mit den neuen Heliometern gemacht worden, wobei dann die von beiden Objektivhälften erzeugten Bilder mit einander verglichen werden. Es ist klar, dass diese Beobachtungsmethode eigentlich zu den früher beschriebenen gehört und dass man bei ihrer Benutzung stets einen Wechsel der vielleicht nicht ganz gleich wirkenden Objektivhälften eintreten lassen muss. Die Abblendung durch Gitter hat aber auf alle Fälle den Vorzug, dass eine ganz gleichmässige Benutzung der Objektive stattfindet.

Zwischen Objektiv und Okular hat man auch runde, mit dem Lichtkegel koncentrische Blenden angebracht, welche längs der optischen Axe verschiebbar sind. Ist eine solche Blendenöffnung dem Okular näher, so wird sie einen kleineren Theil des Lichtes abblenden, als wenn sie dem Objektiv genähert wird; befindet sie sich an derjenigen Stelle, wo ihr Durchmesser gleich dem Durchmesser des Lichtkegels ist, so wird überhaupt kein Verlust an Intensität eintreten, andernfalls wird aber eine völlige Auslöschung theoretisch nicht stattfinden, sondern die Schwächung nur bis zu einer bestimmten Grenze getrieben werden können, für welche allerdings praktisch der Stern nicht mehr wahrnehmbar ist, da die Helligkeit H ausgedrückt wird durch die Formel

$$H = \frac{o^2}{d^2} \cdot \frac{f^2}{\triangle^2},$$

wo o und f Durchmesser und Brennweite des Objektivs, d der Durchmesser der Blende und $\triangle$ die Entfernung der Blende vom Brennpunkt des Objektivs ist.

Aus dieser Gleichung lässt sich aber auch das Helligkeitsverhältniss ver-

[1]) Müller l. c. S. 175.

schiedener Gestirne, deren Bilder man bis zur Unsichtbarkeit geschwächt hat, ableiten, wenn die Grösse $\triangle$ an einer Skala längs des Rohres abgelesen werden kann. Es ist klar, dass bei dieser von HIRSCH[1]) in Neuenburg zuerst vorgeschlagenen und von MERZ in München ausgeführten Einrichtung die Beugungsphänomene eine grosse Rolle spielen. Später haben DAWES[2]) und LOEWY[3]) dieses Photometer zu verbessern versucht, doch ohne wesentlichen Erfolg.

B. Das Verschwinden des Gestirnes wird durch lichtabsorbirende Medien bewirkt.

Bei weitem die wichtigsten der Auslöschphotometer sind aber diejenigen, bei welchen das Verschwinden des Sternbildes durch die Zwischenschaltung absorbirender Medien erfolgt, und vor Allem ist in neuerer Zeit das sogenannte Keilphotometer von grosser Bedeutung geworden.

a. Die Photometer von HORNER, QUETELET u. A.

Nachdem LAMPADIUS[4]) durch eine Reihe von Glasplatten das Licht messbar zu schwächen versucht hatte, ging HORNER dazu über, eine Abstufung durch Aufeinanderlagerung einer Reihe von Ölpapierblättchen zu erzielen. Er verwendete einen Rahmen mit zehn gleichen Öffnungen, der in den Lichtkegel eingeschoben werden konnte. Die erste Öffnung war ganz frei, die zweite durch ein einfaches, die dritte durch ein doppeltes Blättchen verschlossen und so fort bis zur neunfachen Lage, so konnte er der Reihe nach zehn Helligkeitsstufen erzielen. Genügte die neunfache Lage noch nicht zur Löschung, so schaltete er einen Rahmen ein, der eine zehnfache Blätterlage hatte und nöthigenfalls noch ein oder zwei solche Blenden der letzteren Art, so dass er das Licht auch elf, zwölf .... einundzwanzigmal u. s. w. schwächen konnte. Wenn die Methode auch noch etwas roh war, so ist sie doch der direkte Vorläufer der Keilphotometer. Wenn man später an Stelle des Horner'schen Ölpapieres Säulen von Flüssigkeiten setzte, deren Höhe man variabel machte, so muss das als ein Rückschritt angesehen werden; denn das Absorptionsvermögen der Flüssigkeiten ist viel zu viel von äusseren Verhältnissen (Temperatur u. s. w.) abhängig, um eine bequeme Bestimmung der jeweiligen Absorption zuzulassen.[5])

Die Anwendung einer keilförmig geschliffenen gefärbten Glaslamelle zur Schwächung des Lichtes ist älteren Datums; es haben solche Instrumente schon im Anfang der 30er Jahre Graf DE MAISTRE, dann SCHUMACHER und vor Allen KAYSER in Danzig angewendet. Theilweise benutzten sie auch zwei Keile, welche sich über einander schoben, so dass Ein- und Austritts-

[1]) Bulletin de la société des sciences natur. de Neufchâtel, Bd. 6, S. 94.

[2]) Monthly Notices, Bd. XXV, S. 229.

[3]) Monthly Notices, Bd. XLII, S. 91. Vergl. dazu Müller l. c. S. 177.

[4]) Beiträge zur Atmosphärologie Stück II, Phot. Beob. im Jahre 1814, S. 164. Freiberg 1817. Vergl. des Weiteren: Adrien Palaz, Traité de Photométrie industrielle. Paris 1892.

[5]) Solche Apparate sind von Quetelet und Albert angegeben, aber kaum weiter benutzt worden. Vergl. Bibliothèque universelle des sciences, Bd. 6 und Dinglers polyt. Journal, Bd. 100, S. 20.

fläche parallel wurden und keine Dispersion und Ablenkung erfolgte. Auch bezüglich der Stellung des Keiles zur Brennebene, d. h. ob in oder vor derselben angebracht, waren die Konstruktionen verschieden. So interessant eine Besprechung dieser Vorläufer des jetzigen Keilphotometers auch sein würde, so muss ich doch an dieser Stelle darauf verzichten und verweise, wie schon des öfteren, auch in dieser Beziehung auf das betreffende Kapitel in MÜLLERS Handbuch. Kurz vor PRITCHARD hat PIAZZI SMITH ein ähnliches Instrument benutzt. Die Form, welche dem Apparate von PRITCHARD gegeben wurde und in der heute noch GRUBB diese Photometer baut, zeigt Fig. 686.

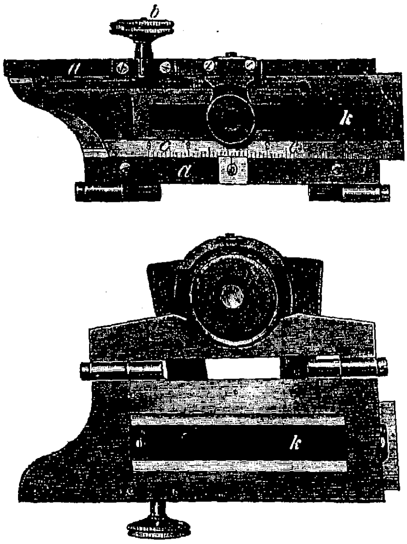


Fig. 686.
(Aus Müller, Photometrie d. Gestirne.)

In dem Rahmen a bewegt sich in der Fokalebene der aus einer durchsichtigen und einer neutral gefärbten Hälfte bestehende Doppelkeil k, dessen Verschiebung senkrecht zur optischen Axe an der Skala c abgelesen werden kann. Vor dem Keil ist zur besseren Fixirung der Sehrichtung noch ein okularähnlicher Stutzen angebracht, der an den Grundrahmen a befestigt ist. Die ganze Vorrichtung ist mit einem Charnirstück verbunden, welches direkt auf das Okular aufgesetzt werden kann, sich aber von demselben abklappen lässt, um auch gewöhnliche Beobachtungen und namentlich die bequeme Einstellung der zu messenden Gestirne zu ermöglichen. Durch Trieb und Zahnstange wird mittelst des Griffes b die Bewegung des Keiles bewirkt.

Eine wesentliche Verbesserung dieses Photometers zeigt die Fig. 687, welche dasselbe in der Form darstellt, die E. GOTHARD demselben gegeben hat[1]) und die er in der Zschr. f. Instrkde. wie folgt beschreibt:

„Der 110 mm lange Keil von einer Breite von 22 mm wurde aus möglichst neutral gefärbtem Rauchglase von STEINHEIL in München geschliffen; um die Ablenkung der Strahlen zu beseitigen, ist ein gleicher Keil aus weissem Glase auf ihm mit Kanadabalsam aufgekittet, so dass beide zusammen einen planparallelen Streifen bilden.

Der Keil ist zwischen drei Messingplatten gefasst; die mittlere dient nur als Rahmen, die beiden anderen, von welchen die eine, B, sichtbar ist, dienen als Deckplatten. Ausser der Öffnung für den Keil besitzen die Platten noch eine Bohrung C, um durch die Fassung ohne absorbirende Medien durchsehen zu können, was die Einstellung des Sternes — besonders bei schwächeren Objekten — sehr erleichtert. Die Fassung des Keiles ist zwischen zwei entsprechenden Messingplatten D mit einer Zahnstange und Trieb, dessen

[1]) Zschr. f. Instrkde. 1887, S. 347 ff. Für die Kieler Sternwarte hat der Mechaniker Steger, nach Fr. Kroegers Angaben, ein verbessertes Keilphotometer gebaut, Fig. 688, an dem namentlich auch schon die Registrirung der Stellungen des Keils eingeführt ist.

randirter Kopf bei E zum Theil sichtbar ist, verschiebbar. Beide Platten haben angeschraubte und mit Gewinde versehene Ringe, um den Apparat auf dem Okularauszuge eines Fernrohres befestigen zu können und zwar entweder in der Weise, dass das Okular auf der oberen Platte angebracht

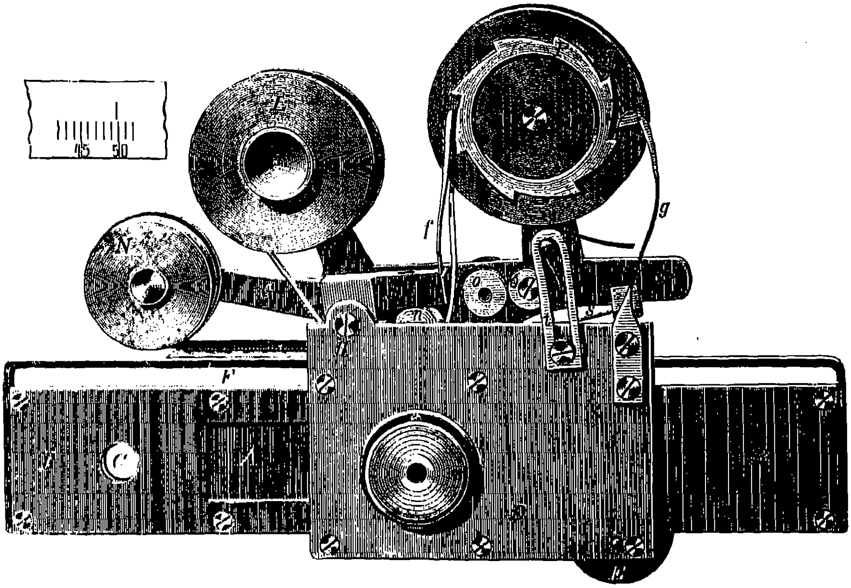


Fig. 687.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1887.)

wird, wie in der Zeichnung, so dass der Keil in der Brennebene des Objektives sich befindet, oder auch so, dass der ganze Apparat sich zwischen Auge und Okular befindet.

Mit der Fassung des Keiles ist die Theilung F in Verbindung. Um das

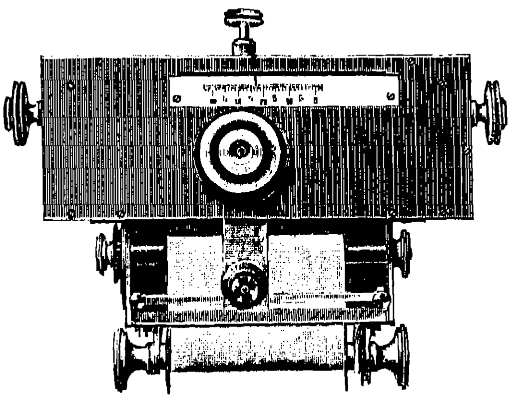


Fig. 688.

Abdrucken der Einstellung bewerkstelligen zu können, sind die Theilstriche und Ziffern nicht eingravirt, sondern erhaben hergestellt.[1]) Der Druckapparat selbst ist im Wesentlichen eine Nachbildung der Repsold'schen Kon-

[1]) Die erhabene Bezifferung stellte Gothard auf einfache Weise in Zinkätzung her.

struktion, natürlich mit entsprechender Anpassung an den vorliegenden Zweck. Der Hebel GG trägt drei Rollen für das Papier und dient zugleich als Druckhebel. Er ist bei H mittelst eines in dem starken Messingstücke J eingeschliffenen konischen Zapfens in der oberen Platte D des Gehäuses drehbar gelagert, so dass der Hebel G um 25 mm hinter der vorderen Ebene der Platte D sich befindet. J ist an dem Hebel G festgeschraubt und trägt zugleich den Druckklotz n aus Buchsbaumholz; dieser ist nicht festgeschraubt, sondern nur lose gehalten und oben bogenförmig gestaltet, dass er sich der Theilung ganz anschmiegen kann. Der Papiervorrath ist auf der Rolle L aufgewickelt und läuft unter dem Zapfen H und dem Druckklotz n zu der zweiten Rolle M, auf welcher es automatisch aufgewickelt wird. Die Rolle L hat nur einen möglichst kleinen cylindrischen Kern, um viel Papier aufnehmen zu können; M wird dagegen durch ein Messingrohr von 40 mm Durchmesser gebildet, damit bei jedem Hub ein recht langes Stück Papier durchgezogen wird. N enthält Blaudruckpapier, wie es in kleinen Röllchen im Handel zu bekommen ist; dasselbe wird zwischen der Theilung und dem Papierstreifen durch die beiden Lederröllchen o o mit der Hand von Zeit zu Zeit durchgezogen, um nach jedem fünften oder sechsten Druck eine neue Stelle in Anwendung zu bringen.

Die Wirkung des Druckapparates ist die folgende: Nachdem die Einstellung gemacht ist, wird G niedergedrückt, dadurch der Papierstreifen an die Theilung gepresst und der Index und etwa 10 bis 12 Theilstriche mit den Ziffern abgedruckt, wie dies in der Nebenfigur zu sehen ist. Das Ablesen zu erleichtern, ist die Bezifferung von 5 zu 5 mm angebracht. Die Fortbewegung des Papierstreifens geschieht durch den verzahnten Ring P, welcher auf der Rolle M aufgelöthet ist; er wird durch die Feder f beim Niederdrücken festgehalten, weil diese auf dem Messingstück J verschraubt ist und sich daher mit dem Hebel mitbewegt. Die Feder g, die auf der oberen Platte des Gehäuses befestigt ist, hakt in den nächsten Zahn ein und wenn der Druck aufhört zu wirken, wird beim Heben des Hebels durch die nur theilweise sichtbare Feder s die Rolle M um $^1/_8$ Umgang weiter gedreht, daher der Papierstreifen um ein Stück von etwa 15 bis 20 mm Länge fortgezogen."

Eine in mehreren Punkten noch vollkommenere Form giebt jetzt Töpfer in Potsdam seinen Keilphotometern, nach den Vorschlägen von Müller und Kempf, von denen eines der allerneuesten in Fig. 689 dargestellt ist. Der Keil K ragt in der Figur ein Stück in die Okularröhre hinein (das Okular ist abgeschraubt) und dieselbe veranschaulicht zugleich, dass der Keil nicht in einen Rahmen gefasst ist, sondern, dass man noch an ihm vorbei sehen kann, um so, wie schon oben erwähnt, eine leichte Orientirung zu gewinnen.

Ausserdem verschieben sich in dem Hauptkasten noch zwei Schieber, von denen der eine zwei Lamellen in geringer Entfernung von einander trägt, welche dazu dienen, den zu beobachtenden Stern zwischen sich entlang laufen zu lassen,[1]) sodass der Ort desselben im Gesichtsfeld und zum Keil

[1]) Bei der Beobachtung ist die Längsrichtung des Keiles natürlich senkrecht zur täglichen Bewegung zu stellen. Die Bewegung des Keiles findet also im Stundenkreis statt.

sehr gut gesichert ist. Ausserdem sieht man auf der rechten Seite eine abgerundete Platte hineinragen, welche, wenn sie weiter nach links geschoben wird, das ganze Gesichtsfeld verdeckt und nur einen schmalen Streifen frei lässt, der die Stelle des Lamellenzwischenraumes einnimmt, sodass ausser dem zu beobachtenden Sterne im Gesichtsfelde nichts zu sehen ist, wodurch jede störende Lichtwirkung vom Auge fern gehalten wird. Die Art der Registrirung dürfte nach obiger Beschreibung der Gothard'schen Einrichtung ohne Weiteres verständlich sein, ebenso die Gesammtanwendung des Photometers, da sie in keinem wesentlichen Punkte von dem dort Gesagten abweicht.

Für Potsdam ist in neuerer Zeit ein besonders zu Beobachtungen mit dem Keilphotometer eingerichtetes Instrument gebaut worden, welches ich

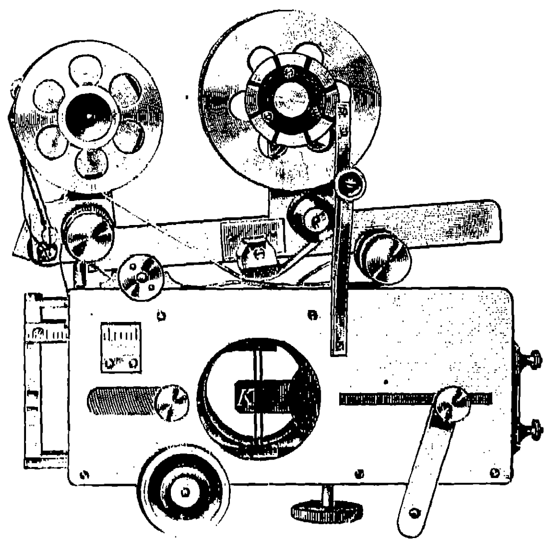


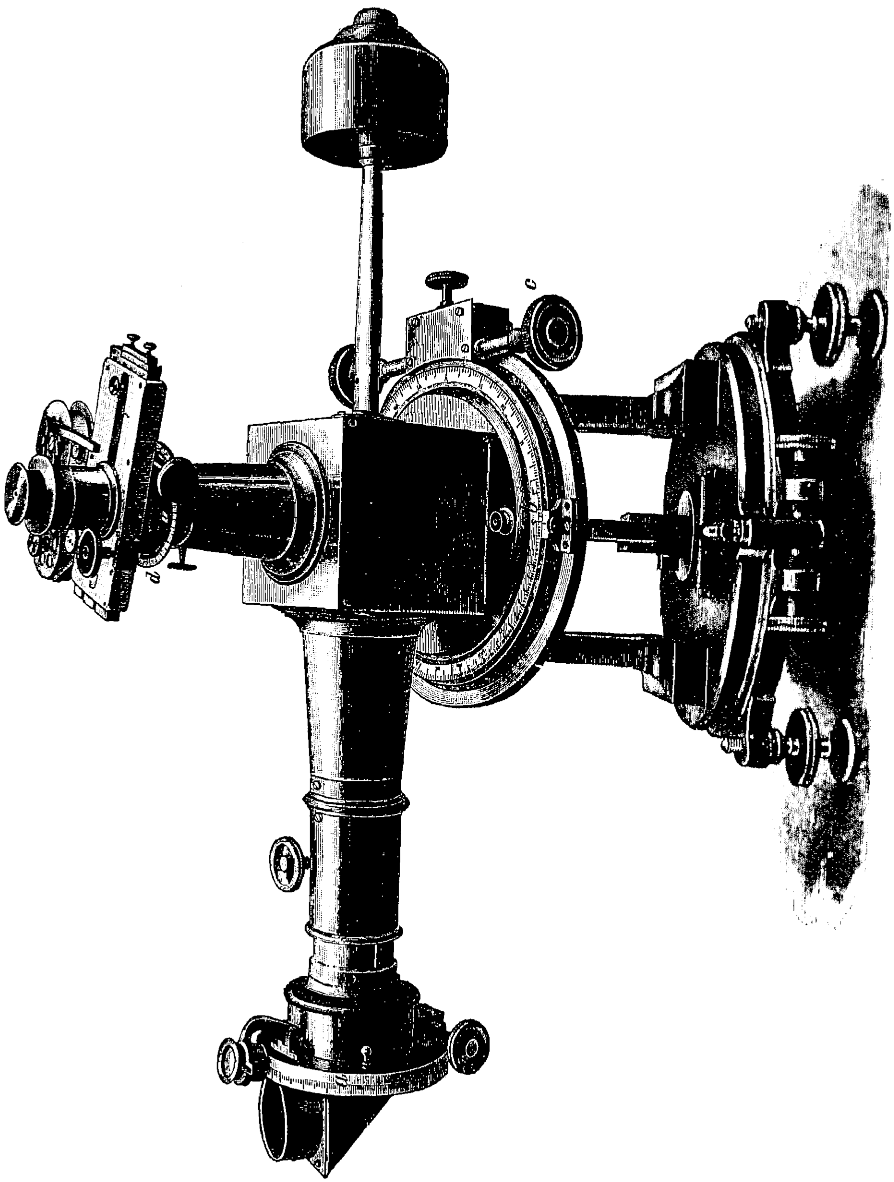
Fig. 680.

hier noch mit MÜLLERS[1]) eigenen Worten beschreiben möchte, da es wohl eines der vollkommensten Instrumente seiner Art sein dürfte und MÜLLER gewiss der beste Kenner desselben ist.

„Das in Fig. 690 dargestellte Instrument hat die Form eines „Equatorial coudé“ und kann für jede Polhöhe eingestellt werden. Das Okular ist nach dem Pole gerichtet, der Beobachter braucht also seine Stellung niemals zu verändern. Die Deklination der Sterne wird an dem Kreise a eingestellt, welcher mit dem vor dem Objektiv befindlichen drehbaren Prisma fest verbunden ist; b ist der Stundenkreis und c eine Vorrichtung zur Feinbewegung, um die Sterne immer in der Mitte des Gesichtsfeldes zu haben. Da das Photometer sich bei der Drehung im Stundenwinkel mitbewegt, so bleibt infolge der Spiegelung an den beiden Prismen (eins vor dem Objektiv, das andere im Inneren des gebrochenen Fernrohrs) der im Keilphotometer angebrachte Steg nicht parallel der täglichen Bewegung. Das Photometer ist

[1]) Müller l. c. S. 192.

daher noch für sich im Positionswinkel drehbar, und, wie man leicht sieht, braucht man an dem Positionskreise d nur die jedesmalige Deklination des Sterns einzustellen, damit derselbe sich innerhalb des Steges, also senkrecht



zur Richtung der Keilverschiebung, durch das Gesichtsfeld bewegt. Bei dem hier beschriebenen Apparate hat das Objektiv eine Öffnung von 5,5 cm und eine Brennweite von 60 cm. Es eignet sich in diesen Dimensionen zur Beobachtung aller Sterne bis zur achten Grösse.«

b. Kurze Theorie des Keilphotometers.

Die Theorie des Keilphotometers ist ausserordentlich einfach, nur die Bestimmung der einen nöthigen Konstante ist etwas umständlich. Man hat vielerlei Methoden dazu angegeben, am zweckmässigsten dürfte aber die direkte Bestimmung mit Hülfe eines Zöllner'schen Photometers oder die indirekte durch Vergleich von Sternen von bekannter Helligkeit sein. Liefert die erste Methode nahe absolute Werthe, so zeichnet sich die letztere dadurch aus, dass sie ohne jeden Hülfsapparat nur mit Zugrundelegung der bekannten Helligkeitskataloge (des Harvard Coll., der Oxforder Uranometrie oder des vorzüglichen Potsdamer Verzeichnisses) ausführbar ist.

In Fig. 691 stellt ABCD einen Querschnitt des Keiles dar, und zwar der schraffirte Theil den Keil aus gefärbtem und der freie den Keil aus gewöhnlichem Flintglas. Setzt man AB gleich l, AD gleich d und stellen

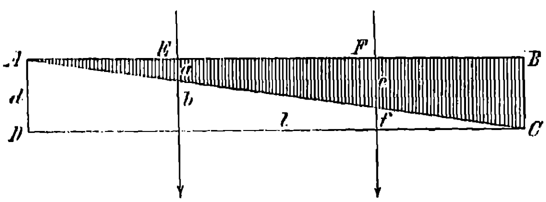


Fig. 691.

die Linien Eb und Ff die Centralstrahlen zweier Sterne mit den Intensitäten J_1 und J_2 dar, so werden die Intensitäten nach dem Austritt J_1' und J_2' abhängig sein von den verschiedenen Weglängen, welche die Strahlen durch jede der beiden Keilhälften zurückgelegt haben. Diese seien a und b resp. e und f. Ist dann der Absorptionskoefficient des gefärbten Glases k und der des ungefärbten c, so hat man nach optischen Gesetzen:[1])

$$J_1' = J_1\, k^a\, c^b \text{ und ebenso } J_2' = J_2\, k^e\, c^f \text{ daraus}$$

$$\log J_1' - \log J_1 = a \log k + b \log c$$

$$\text{und } \log J_2' - \log J_2 = e \log k + f \log c.$$

Da aber auch $a + b = e + f = d$ ist, so hat man mit Einführung der Keildicke d für den Fall, dass $\log J_1' = \log J_2'$ wird, also z. B. J_1' u. $J_2' = 0$, d. h. die Sterne ausgelöscht werden:

$$\log J_1 - \log J_2 = (e - a)\ (\log k - \log c).$$

Weiterhin ist aber auch

$$\frac{EF}{l} = \frac{s}{l} = \frac{e - a}{d}$$

und damit geht die vorige Gleichung über in

$$\log J_1 - \log J_2 = \frac{s\,d}{l} (\log k - \log c).$$

Dividirt man die linke Seite durch 0,4, d. h. mit dem logarithmischen Unterschied der Lichtintensitäten zweier auf einander folgender Grössenklassen, so erhält

[1]) Müller l. c. S. 186.

man diese Seite ausgedrückt direkt in Grössenunterschied. Wird dieser mit g bezeichnet und ausserdem die jedem Keil eigenthümliche Konstante

$$\frac{d}{l}(\log k - \log c) = K$$

gesetzt, so hat man

$$g = s\,K.$$

K ist die Konstante, von welcher oben die Rede war und deren Bestimmung für jeden Apparat besonders durchgeführt werden muss. Sie soll sich zweckmässig etwa zwischen den Grenzen 0,15 — 0,20 Grössenklassen halten, d. h. bei Verschiebung des Keils um 1 mm (eine Theilungseinheit) soll sich die Absorption um 0,15—0,20 Grössenklassen vergrössern oder verkleinern.

An die Stelle des Auges können zur Beurtheilung der Intensität einer Lichtquelle auch sehr wohl andere Mittel treten, z. B. die photographische Platte, welche bei gleicher Empfindlichkeit und gleicher Expositionsdauer im Allgemeinen das Bild eines Sternes um so grösser zeigen wird, je heller er ist, d. h. je mehr Licht bei gleicher Objektivöffnung auf der Silberschicht zur Wirkung gelangen kann. Es ist klar, dass auf diese Weise auch photometrische Bestimmungen durch die nachträgliche Ausmessung der Sternbilder ausgeführt werden können.[1] Wie aber schon aus der Forderung der gleichen Empfindlichkeit der Silberschicht hervorgeht, hängt die Wirkung des Lichtes auf die Platte von vielen Faktoren ab, deren Konstanthaltung nicht immer in der Hand des Beobachters liegt. Auch die Färbung des beobachteten Gestirns spielt eine erhebliche Rolle. Aus diesem Grunde ist die photographische Photometrie heute noch nicht in der Lage, nach einfachen Gesetzen und mit einfachen für ausgedehnte Beobachtungsreihen anwendbaren Mitteln vorzugehen. Vielmehr befindet sich dieser Zweig der Photometrie noch sehr im Stadium der Entwicklung, und es dürfte daher hier kaum zweckmässig sein, ausser der Erwähnung dieser allgemeinen Gesichtspunkte, näher auf dieses Verfahren einzugehen.

Auch noch einige andere Methoden, die Intensität der Strahlungsenergie der Himmelskörper zu messen, möchte ich hier nicht eingehend erörtern, zumal es sich bei diesen aktinometrischen und bolometrischen Apparaten fast ausschliesslich um Messungen an der Sonne handelt (nur der Mond kommt noch in Betracht)[2] und diese Untersuchungen weit eher in das Gebiet der Physik, als in dasjenige der Astronomie gehören. Auch ist dieses Kapitel in MÜLLER's Photometrie der Gestirne so vorzüglich behandelt, dass an dieser Stelle im besten Falle ein Auszug aus dem dort Gesagten einen Platz finden könnte, was um so mehr unnöthig erscheint, weil für Jedermann, der sich eingehender mit photometrischen Messungen zu beschäftigen gedenkt, das genannte Werk doch unentbehrlich sein dürfte.

---

[1]) Auch durch photographische Aufnahmen ausserhalb der Brennebene hat Schwarzschild neuerdings gute Messungen erhalten.

[2]) Vergl. dazu die Litteratur über die Untersuchungen von Lord Rosse in Pearsonstown, welcher mittelst sehr empfindlicher Thermosäulen die Ab- und Zunahme der Mondstrahlung bei Verfinsterungen desselben mass.

Vierzehntes Kapitel.

Spektralapparate.

1. Allgemeines.

Neben Richtung und Intensität der Lichtstrahlen, welche von den Gestirnen zu uns gelangen, hat mit der Entdeckung der Spektralanalyse auch die qualitative Beschaffenheit derselben für den Astronomen, speciell den Astrophysiker, ein hohes Interesse erlangt. Nachdem man gelernt hat, aus dem Vorhandensein einzelner Strahlen von dieser oder jener Wellenlänge in dem in unserem Auge den Lichteindruck hervorbringenden Strahlengemenge auf die physikalische oder chemische Beschaffenheit der Weltkörper zu schliessen, hat sich die Kenntniss von der stofflichen Zusammensetzung der Himmelskörper und diejenige betreffs ihres Aggregatzustandes ungemein erweitert. Die Bearbeitung des Gebietes, welches durch diesen Umstand der beobachtenden Astronomie erschlossen wurde, umfasst eine so bedeutende Mannigfaltigkeit von Erscheinungen und setzt so vielseitige Kenntnisse aus den hier als Hülfswissenschaften auftretenden physikalischen und chemischen Disciplinen voraus, dass es an dieser Stelle völlig unmöglich ist, in einigermaassen ausführlicher Weise auf die vielen und zum Theil höchst sinnreichen Apparate einzugehen, welche zur erfolgreichen Forschung in der Spektralanalyse der Gestirne heutzutage benöthigt werden. Daher soll hier nur das Princip ihrer Konstruktion und einige wenige typische Instrumente näher besprochen werden. Es mag das um so mehr gestattet sein, als eine reiche Litteratur nicht nur bezüglich der spektralanalytischen Instrumente im Allgemeinen, sondern auch betreffs der in der Astrophysik allein gebräuchlichen, vorhanden ist. Eine scharfe Grenze zwischen den im Kabinet und im Observatorium zu benutzenden Instrumenten ist schwer zu ziehen. Die Zerlegung des Lichtes wird bei spektroskopischen Beobachtungen der Himmelskörper in den meisten Fällen mittelst Prismen aus Glas vorgenommen. Fast ausschliesslich zur Beobachtung der Sonne verwendet man die Beugungserscheinungen an Gittern in durchfallendem oder in reflektirtem Lichte. Obgleich dieses Verfahren gegenüber der Lichtzerlegung durch Prismen viele Vorzüge hat, so ist doch die Intensität des Sternenlichtes nur ausnahmsweise genügend, um die Zerlegung durch Beugungsgitter zu gestatten.

a. Dispersion, Achromasie und Form der Spektrallinien.

Es muss hier im Allgemeinen die Kenntniss derjenigen Gesetze vorausgesetzt werden, nach denen die Dispersion des Lichtes in einem Prisma er-

folgt und nach denen ein Beugungsspektrum zu Stande kommt. Es sei nur ganz kurz auf den Umstand aufmerksam gemacht, dass für alle hier in Betracht kommenden Apparate die Prismen stets am günstigsten für das Minimum der Ablenkung aufgestellt werden; denn nur für diesen Fall werden die Strahlen eines monochromen, homocentrischen engen Strahlenbündels, d. h. eines solchen, welches von einem leuchtenden Punkte ausgeht, nach dem Durchgang und nach der Brechung in einem Prisma wieder homocentrisch sein, sich wieder durch eine Sammellinse in einem Punkte vereinigen lassen. Im Falle des weissen Lichtes wird also ein Spektrum erhalten, für welches die Strahlen derselben Wellenlänge in einem Punkte vereinigt werden können.

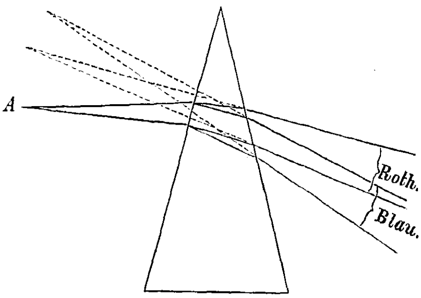


Fig. 692.

Die Fig. 692 u. 693 stellen allgemein den Gang der Strahlen dar, welche von einem endlich entfernten leuchtenden Punkt A ausgehen, einmal ohne Sammellinse und das andere Mal nach Einschaltung einer solchen. Da nun bei allen Sternspektralapparaten die Lichtquelle stets ein leuchtender Punkt oder eine durch einen engen Spalt erzeugte Lichtlinie ist, so sind die in Frage kommenden Strahlenbündel auch stets homocentrisch (wenigstens in einem Querschnitt), und sobald die Prismen also

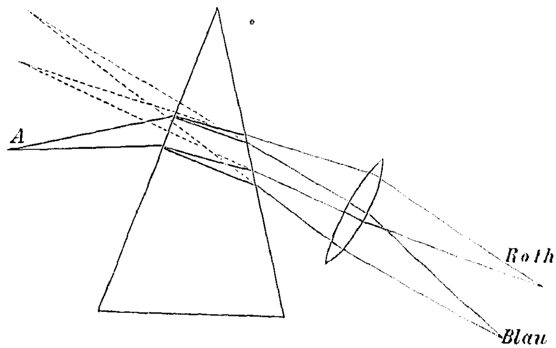


Fig. 693.

im Minimum der Ablenkung stehen, werden brauchbare Spektren entworfen werden. Weiterhin bleibt aber ein aus parallelen Strahlen bestehendes Strahlenbündel auch unter allen Umständen nach dem Durchgang durch ein Prisma homocentrisch. Diesem Umstand ist Rechnung zu tragen, wenn aus bestimmten Gründen die Prismen nicht im Minimum der Ablenkung verwendet werden. Deshalb macht man die von einem Spalt kommenden Strahlen vor dem Eintritt in das Prisma dadurch parallel, dass man dieselben durch eine Linse gehen lässt, welche in der Entfernung ihrer Brennweite vom Spalte aufgestellt wird. Linse und Spalt vereinigt bilden dann den Theil eines Spektroskopes, den man den Kollimator nennt. Für den Durchgang von

homocentrischen Strahlen durch ein Prisma bleiben ausserdem Objekt- und Bildweiten dieselben, wenn das Prisma im Minimum der Ablenkung steht. Parallele Strahlen bleiben auch, wie schon bemerkt, parallel, wenn das Prisma nicht im Minimum der Ablenkung steht.

In der Astrophysik wird aber fast immer der Dispersionsapparat (Prismen oder Gitter) in Verbindung mit einem Fernrohr benutzt; in Folge dessen werden auch die Eigenschaften der optischen Theile desselben, vor Allem des Objektivs oder des Spiegels in Frage kommen. Selbst von einem achromatischen Objektiv werden aber die parallel auffallenden Strahlen verschiedener Wellenlänge nicht in einem Punkte vereinigt. Es werden also auch nach dem Durchgang durch das Prisma, mag dieses nun vor dem Objektiv oder hinter demselben sich befinden, für die von dem Lichte verschiedener Wellenlänge erzeugten Bilder eines Sternes die Vereinigungsweiten — von dem „Mittelpunkte“ [1]) des Objektivs aus gemessen — verschieden sein. Daraus folgt, dass man die ganze Ausdehnung eines erzeugten Spektrums keineswegs gleichzeitig scharf sehen kann, sondern das betrachtende Auge resp. das Okular in verschiedene Stellungen zu bringen hat, je nach dem Theil des Spektrums, welcher der Beobachtung unterworfen werden soll. Von diesem Übelstande sind selbstverständlich die Spiegelteleskope frei, da bei der Reflexion eine Zerlegung des Lichtes nicht stattfindet, und daher für die Strahlen verschiedener Wellenlänge die Brennweite des Spiegels die gleiche ist. Das Spektrum eines Sternes wird also, abgesehen von sphärischer Aberration u. s. w., bei einem Spiegelteleskop auf alle Fälle in einer zur optischen Axe im Brennpunkt senkrechten Fläche liegen. Das ist ein grosser Vorzug der Spiegelteleskope.

Die für ein achromatisches Objektiv in dieser Hinsicht stattfindenden Vorgänge sind früher bei Bestimmung der Brennweite eines solchen schon näher erörtert worden, so dass hier darauf verwiesen werden kann; vergl. S. 402 ff. Da auch das System Auge—Okular nicht als achromatisch zu betrachten ist, werden kleine Verschiebungen der deutlichen Sehweite für die einzelnen Spektralgebiete auch aus diesem Grunde vorkommen und dann selbst bei den Spiegelteleskopen zu beachten sein.

Das Licht, welches die Himmelskörper uns zusenden, ist natürlich nicht monochrom, und deshalb ist es erforderlich, falls ein Studium der einzelnen Strahlengattungen, aus denen das Licht des betreffenden Gestirnes besteht, stattfinden soll, dieses möglichst rein im Spektrum zur Darstellung zu bringen. Das kann aber nur durch starke Dispersion des Prismensystems bei linien- oder punktförmiger Lichtquelle geschehen. Dieser Forderung steht wieder die geringe Lichtmenge entgegen, die ein Gestirn uns überhaupt zusendet. Es ist klar, dass die einzelnen Theile des Spektrums im Allgemeinen um ebenso viel schwächer werden, als das Spektrum an Ausdehnung zunimmt. Zwischen

[1]) Ich wähle hier diesen Ausdruck der Kürze wegen, obgleich derselbe nicht scharf richtig ist; zum Verständniss dessen, was hier erläutert werden soll, ist aber diese Auffassung völlig ausreichend.

diesen beiden Faktoren muss also ein dem betreffenden Fall jederzeit angepasster Kompromiss stattfinden. Die Reinheit des Spektrums, d. h. die Schärfe, mit welcher die einzelnen Strahlengebiete differentirt sind, wächst, je enger der Spalt wird, ist also für Sterne abhängig von der durch Beugung erzeugten Ausdehnung des Sternbildes im Fokus des Objektivs oder besser von der Grösse des Zerstreuungskreises für die einzelne Strahlengattung. Ausserdem ist der Einfallswinkel der Strahlen und damit auch der brechende Winkel des Prismas insofern von Bedeutung, als das Spektrum um so schärfer wird, je grösser beide sind; denn von diesen Verhältnissen hängt die Breite des nach der Brechung zu Stande kommenden Bildes vom Objekt oder Spalt ab. Andererseits hängt die Lichtstärke des Spektrums aber von der Dicke der zu durchlaufenden Glasschicht und der Menge der spiegelnden Flächen ab. Sie wird also um so viel geringer, je grösser jene und je zahlreicher diese sind.

Der Lichtverlust durch Absorption lässt sich nicht ohne Weiteres bestimmen, da derselbe sehr von der Qualität des Glases beeinflusst wird. Für den Verlust durch Reflexion ist aber nicht allein die Anzahl der Prismen maassgebend, sondern wesentlich die Grösse der Einfallswinkel für die einzelnen Flächen. PICKERING hat nachgewiesen,[1]) dass der günstigste brechende Winkel immer der ist, bei welchen für die reflektirenden Strahlen völlige Polarisation erfolgt. Für Flintglas also etwa 64°. Im Übrigen aber auf die Ausführungen bei SCHEINER[2]) und KAYSER[3]) verweisend, sollen hier nur noch auszugsweise die von ersterem gegebenen Tabellen für die erwähnten Verhältnisse von Dispersion, Absorption u. s. w. folgen, aus denen der Einfluss von Brechungswinkeln, Prismenanzahl u. s. w. leicht zu ersehen ist.

I. Prismen von 45 Grad brechendem Winkel.

	n	Eine Fläche	Zwei Flächen	Zwei Prismen	Drei Prismen	Vier Prismen	Fünf Prismen	Zehn Prismen
Ablenkung	1,5	12° 32′	25° 4′	50° 8′	75° 12′	100° 16′	125° 20′	250° 40′
	1,6	15 15	30 30	61 0	91 30	122 0	152 30	305 0
	1,7	18 5	36 10	72 20	108 30	144 40	180 50	361 40
Dispersion $\frac{\sin \frac{1}{2} \alpha}{\cos i}$ [4])	1,5	0,467	0,935	1,870	2,804	3,739	4,674	9,348
	1,6	0,484	0,968	1,936	2,904	3,872	4,840	9,680
	1,7	0,504	1,008	2,016	3,023	4,031	5,039	10,078
Verlust durch Reflexion	1,5	0,043	0,084	0,159	0,226	0,276	0,339	0,539
	1,6	0,057	0,108	0,201	0,281	0,349	0,408	0,609
	1,7	0,074	0,141	0,255	0,347	0,422	0,484	0,676

[1]) Pickering, Philos. Mag. (4) 36, S. 39—43. 1868.
[2]) Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne, Leipzig 1890.
[3]) Kayser, Lehrbuch der Spektralanalyse, Berlin 1883.
[4]) Für das Minimum der Ablenkung ist: $\sin i = n \sin \frac{1}{2} \alpha$.

II. Prismen von 60 Grad brechendem Winkel.

	n	Eine Fläche	Zwei Flächen	Zwei Prismen	Drei Prismen	Vier Prismen	Fünf Prismen	Zehn Prismen
Ablenkung	1,5	18° 35′	37° 10′	74° 20′	111° 30	148° 40′	185° 50′	371° 40′
	1,6	23 8	46 16	92 32	138 48	185 4	231 20	462 40
	1,7	28 13	56 26	112 52	169 24	225 44	282 10	564 20
Dispersion	1,5	0,756	1,512	3,023	4,535	6,046	7,558	15,116
	1,6	0,833	1,667	3,334	5,000	6,667	8,334	16,668
	1,7	0,949	1,899	3,797	5,696	7,594	9,493	18,986
Verlust durch Reflexion	1,5	0,054	0,105	0,189	0,258	0,314	0,359	0,491
	1,6	0,080	0,147	0,252	0,328	0,382	0,422	0,504
	1,7	0,112	0,199	0,319	0,392	0,435	0,462	0,499

Ohne weiter auf die theoretische Begründung hier einzugehen, sollen nur noch zwei Punkte erwähnt werden, welche ebenfalls aus der Theorie der Brechung folgen, und von denen namentlich der erstere für die Handhabung der Spektroskope von Wichtigkeit ist. Es ist das der Umstand, dass die Spektrallinien und die Linien senkrecht zur Spaltrichtung, also solche, die in der Richtung der Dispersion verlaufen und entweder als Begrenzungslinien des Spektrums oder als Folge kleiner Störungen in der Spaltöffnung auftreten, nicht in gleichem Abstande vom Prismensatz scharf erscheinen. Es hat das seinen Grund darin, dass die in einer zur brechenden Kante senkrechten Ebene liegenden Strahlen eine andere Vereinigungsweite haben müssen, als die in einer zu dieser Kante parallelen Ebene verlaufenden. Auch die zweite Eigenthümlichkeit resultirt daraus und zeigt sich in dem nicht geradlinigen Verlaufe der Spektrallinien, was aber nur bei sehr breiten Spektren und bei Beobachtungsfernrohren von sehr kurzer Brennweite merkbar hervortritt. Auf den letzteren Umstand ist allerdings Rücksicht zu nehmen, wenn vergleichende Messungen an verschiedenen Spektren gemacht werden; denn dann wird die scheinbare Dispersion an verschiedenen Theilen der Spektren bezüglich ihrer Breite verschieden sein, da die hier in Frage kommende Krümmung der Linien mit deren Brechbarkeit zunimmt. Es müssen daher immer Schnitte der Spektren mit einander verglichen werden, welche senkrecht zum Spalt stehenden Ebenen angehören, die gleichweit vom Bilde des Sternes abstehen.

Die Trennung der Linien im Spektrum ist aber ausser von der Breite des Spaltes von der Dispersion abhängig und diese wächst im Allgemeinen mit der Anzahl der Prismen und deren brechenden Winkeln und ist ausserdem natürlich abhängig von dem Brechungsexponenten des benutzten Materials für die Prismen.

b. Verschiedene Prismensysteme.

Die Anzahl der Prismen ist, wie wir sahen, durch den Lichtverlust beschränkt; der Brechungswinkel hat seine Grenzen wegen des noch zulässigen Einfallswinkels der Strahlen. Der günstigste Fall wäre dann der, dass die

Strahlen mit streifender Incidenz in das Prisma treten könnten, das ist aber natürlich praktisch unmöglich. Man hat aber den Prismen eine Konstruktion gegeben, die sehr grosse Einfallswinkel bei grossen brechenden Winkeln gestattet. Kittet man nämlich auf die Seiten eines Prismas aus schwerem Flintglas je ein Prisma aus Crownglas so auf, dass deren brechende Kanten an die Basis des Flintprismas zu liegen kommen, wie es Fig. 694 zeigt, so kann man die Strahlen sehr schief eintreten lassen; obgleich dadurch die Dispersion etwas verändert wird, so ist doch durch die Grösse des brechenden Winkels des Flintglasprismas noch ein Vortheil gegenüber den gewöhnlichen Prismen zu erzielen. Solche Prismen nennt man nach ihrem Erfinder „Rutherfurd'sche Prismen". Gewöhnlich haben bei diesen die Flintprismen brechende Winkel von etwa 90° und die beiden anderen je nach ihrem Brechungsexponenten solche von 15—25°.

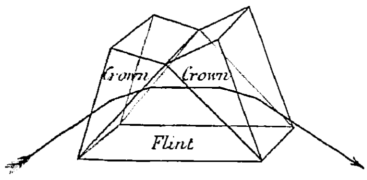


Fig. 694.

Bei den einfachen und den Rutherfurd'schen Prismen ist eine starke Dispersion auch stets mit starker Ablenkung verbunden. Ebenso wie es aber Konstruktionen von Prismensystemen giebt, die starke Ablenkung ohne Dispersion hervorbringen (hierher gehören die zahlreichen nur katoptrisch und dioptrisch wirksamen Prismen- und Linsenverbindungen, welche Ablenkung mit Achromasie verbinden),[1]) so hat man auch Prismensätze hergestellt, welche erhebliche Dispersion bewirken und bei denen trotzdem die austretenden Strahlen den einfallenden gleich gerichtet sind. Man nennt solche Anordnungen „Prismen mit gerader Durchsicht" (Prismen à vision directe).

Es giebt mehrere Arten solcher Prismensysteme, die sich namentlich dadurch unterscheiden, dass man entweder die Brechung des Lichtes in verschiedenen Medien oder Brechung mit Reflexion zur Erlangung gleichgerichteter Eintritts- und Austrittsstrahlen benutzt hat.

Nachdem Amici das Princip angegeben hatte, nach welchem die Prismen aus verschiedenem Materiale anzuordnen seien, hat zuerst Hofmann in Paris[2]) aus Flint- und Crownglas solche Prismensätze wirklich hergestellt. Um trotz der theilweisen Kompensation doch eine erhebliche Dispersion zu erhalten, müssen mehrere Prismen aneinander gereiht werden, wodurch natürlich ziemlich viel Licht verloren geht. Es werden daher solche Prismensätze gewöhnlich nur in kleinen Dimensionen ausgeführt, wie es z. B. bei den Okularspektroskopen (siehe dort), bei kleineren Spektrometern oder bei kleinen Sternspektroskopen zum Gebrauche in freier Hand der Fall ist. Von letzterer Art zeigt Fig. 695 eine sehr gebräuchliche Konstruktion, aus welcher zugleich das Princip dieser Apparate gut ersichtlich ist. An Stelle der Flintglasprismen hat man auch Flüssigkeitsprismen gesetzt, und solche mit Schwefel-

---

1) Jedes achromatische Objektiv ist nichts anderes als ein solches System.
2) Vergl. den Aufsatz von Radau in Pogg. Annalen, Bd. 118, S. 452 ff.

kohlenstoff-Methylsalicylsäure oder auch mit Zimmtsäureäthyläther gefüllt,[1]) aber für astronomische Zwecke dürften diese kaum zur Verwendung gelangen.

Fr. Fuchs in Bonn hat die gerade Durchsicht durch Reflexion an einer spiegelnden Ebene erzielt.[2]) Fig. 696 stellt diese Konstruktion dar. Mit der

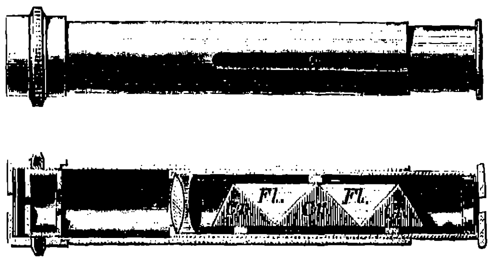


Fig. 695.

Grundfläche des Prismas A ist ein planer Metallspiegel B verbunden; es wird also ein Strahl, welcher das gleichschenklige Prisma parallel zur Grundfläche passirt, also im Minimum der Ablenkung, in derselben Richtung

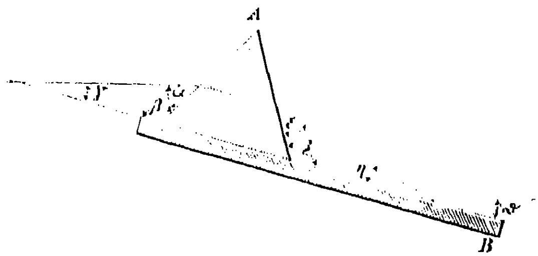


Fig. 696.

reflektirt in welcher er in das Prisma tritt; denn es ist dann $\alpha = \varepsilon$, $\beta = \zeta$ und ebenso $\gamma = \eta$ also auch $\gamma = \vartheta$. Auch totale Reflexion hat man verwendet, und zwar sowohl mit Anwendung mehrerer als auch nur eines Prismas,[3]) dem man dann besondere Formen geben muss.

e. Die Cylinderlinse.

Da bei allen Spektralapparaten die Breite des Spektrums von der Ausdehnung der Lichtquelle in dieser Richtung abhängig ist, so wird ein streng

[1]) Raleigh, Philos. Mag., Bd. 9, S. 53 — Thollon, D'Almeida, Jahrg. 8, S. 73 — Wernicke, Zschr. f. Instrkde. 1881, S. 353 ff. und Zenger, Zschr. f. Instrkde. 1881, S. 263 ff. Die Einrichtung eines Flüssigkeitsspektroskops zeigt Fig. 697. Dieselbe ist ein zur brechenden Kante senkrechter Durchschnitt eines solchen Prismensatzes. C, C sind die Crownglasprismen, F ist das Flüssigkeitsprisma, G_1, G_2 zwei Glasplatten, welche auf die Prismen C, C aufgekittet werden; H, H ein Mantel von Holz oder Hartgummi, der den parallelopipedischen Glaskörper von vier Seiten einschliesst. Bezüglich des Zenger'schen Spektroskopes, dessen Anordnung Fig. 698 schematisch zeigt, muss aber hier auf das Original verwiesen werden, es sei nur bemerkt, dass er die beiden Prismen a b c und b c d aus Quarz und einer Flüssigkeit oder aus zwei verschieden stark zerstreuenden Gläsern wählt, für das aber der Brechungsindex für die D-Linie gleich ist.

[2]) Fr. Fuchs, Zschr. f. Instrkde. 1881, S. 352.

[3]) Herschel, Moniteur scientific, Bd. 7, S. 259 (1865) — Ketteler, Pogg. Annalen, Bd. 151, S. 507 ff. — Emsmann, Pogg. Annalen, Bd. 150, S. 636 ff.

punktförmiger Stern auch nur ein linienförmiges Spektrum liefern. Trotz der durch Beugung veranlassten Ausdehnung des Sternbildes würde das Spektrum dennoch so schmal sein, dass das Auge nur sehr wenig oder kein Detail darin erkennen könnte. Deshalb schaltet man in den Strahlengang solcher Spektroskope noch eine Cylinderlinse ein.[1]) Eine solche besteht aus zwei Cylinderflächen, deren Axen parallel sind. Die Folge ist, dass alle Schnitte durch eine solche Linse, welche parallel einer dieser Axen durch die Linse geführt werden, dieselbe in einem Rechteck schneiden, während die senkrecht zu diesen Axen geführten Querschnitte von zwei Kreisbögen begrenzte Zweiecke darstellen (wie es bei gewöhnlichen Linsen für jeden Schnitt parallel der optischen Axe der Fall ist). Strahlen, welche in Ebenen der ersteren Art liegen, erleiden daher in ihrer gegenseitigen Konvergenz keine Änderung; mit Bezug auf die Ebenen der zweiten Art verhalten sich die Strahlen aber ebenso wie beim Durchgange durch eine gewöhnliche Linse. Konvergirten also die von dem Objektiv eines auf einen Stern gerichteten Fernrohrs kommenden Strahlen vor dem Eintritt in die Cylinderlinse, so werden sie in den Ebenen erster Art diese Konvergenz beibehalten, und sich in Folge dessen in einer Entfernung hinter dem Objektiv vereinigen, welche sehr nahe dessen Brennweite entspricht. Da aber mit Bezug auf die Ebenen zweiter Art eine weitere Konvergenz (eine positive Cylinderlinse vorausgesetzt) stattfinden muss, so werden sich diese Strahlen auch schon einmal vereinigen müssen in einer Entfernung vom Objektiv, welche kleiner ist als dessen Brennweite. Es entstehen, wie Fig. 699 näher erkennen lässt, nicht zwei Brennpunkte, sondern zwei Brennlinien, eine sogenannte Neben- und die Hauptbrennlinie.[2])

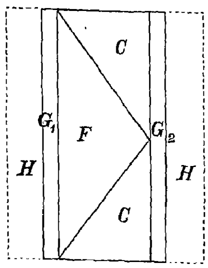


Fig. 697.

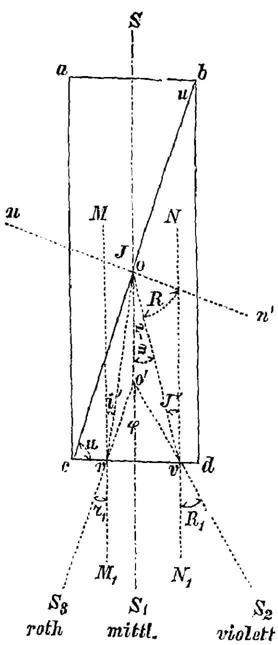


Fig. 698.

Ist C C¹ C² C³ die Cylinderlinse und würden die vom Objektiv kommenden Strahlen S S im Brennpunkte A sich vereinigen, wenn die Cylinderlinse nicht vorhanden wäre, so wird das nach Zwischenschaltung derselben in der Linie a a geschehen; denn es wird die Cylinderlinse in den zu ihrer Axe senkrechten Schnitten eine ihrer Krümmung entsprechende stärkere Konvergenz (resp. schwächere Konvergenz) hervorbringen, so dass sich die Strahlen auch schon zwischen M und A in einer durch B gehenden Linie b b einmal

[1]) Bei photographischen Aufnahmen des Spektrums kann diese Verbreiterung auch auf anderem Wege leicht erzielt werden, nämlich durch ein mittelst des Uhrwerks des Fernrohrs bewirktes langsames Fortrücken des Spektrums in der Linienrichtung.

[2]) Wenn man diese Bezeichnungsweise auch auf nicht parallel einfallendes Licht anwendet.

schneiden müssen, die zur optischen Axe und zur Linie
Dadurch kommt es, dass sich die zweite Vereinigung de
ganze Linie a a erstreckt. Man nennt b b die Hauptbrenn...
a a als Nebenbrennlinie bezeichnet wird.

Ist φ der Winkel, welchen die Randstrahlen ohne Cylinderlinse mit einander einschliessen, und ψ der entsprechende Winkel für die der Cylinderlinse stärker konvergirenden Strahlen, die sich in b b vere so hat man als Länge für die Hauptbrennlinie $bb = L = 2\,(d + d')\,\mathrm{tg}$ und für die der Nebenbrennlinie $aa = L' = 2\,(d + d')\,\mathrm{tg}\,\frac{1}{2}\,\psi$, wenn f die Brenweite der Cylinderlinse ist, und in der Gleichung

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{f}$$

$d = -MA$ und $d' = MB$ zu setzen ist; denn in dem hier betrachteten Falle ist die Cylinderlinse als zwischen Objektiv und Brennpunkt desselben ein-

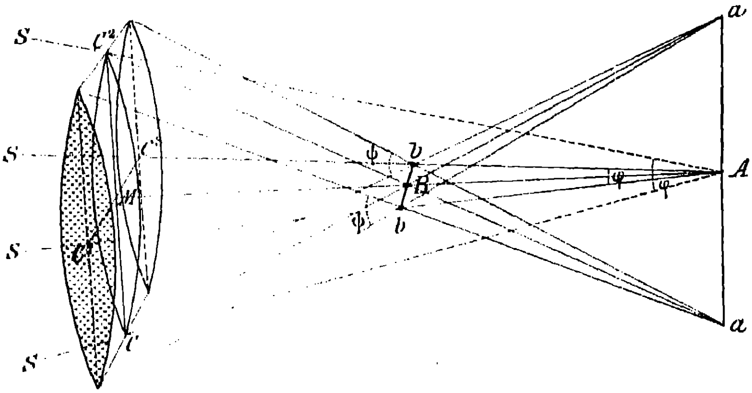


Fig. 690.

geschaltet gedacht. Da φ und ψ immer kleine Winkel sein werden, kann man ohne Fehler auch setzen

$$L = (d + d')\,\mathrm{tg}\,\varphi \text{ und } L' = (d + d')\,\mathrm{tg}\,\psi,$$

und daraus folgt auch $\frac{d}{d'} = \frac{\mathrm{tg}\,\psi}{\mathrm{tg}\,\varphi}$. Setzt man an die Stelle des Winkels φ den Quotienten Öffnung (r) dividirt durch Brennweite (F) des Objektivs, so wird $\frac{r}{F}\ \ \mathrm{tg}\,\varphi$ und $L' = \frac{r}{F} \cdot \frac{d^2}{f}$, wo f die Brennweite der Cylinderlinse ist. Daraus geht hervor, dass sich die Länge der Nebenbrennlinien, also die Breite der durch dieselbe erzeugten Spektren bei Benutzung derselben Cylinderlinse verhalten wie die Quadrate ihres Abstandes vom Brennpunkte des Objektivs und dass sich für verschiedene Cylinderlinsen die Breiten der Spektren verhalten umgekehrt wie deren Brennweiten.

Einmal wegen dieser einfachen Verhältnisse, in denen Breite des Spektrums, Brennweite und Abstände stehen, und andererseits wegen des Umstandes dass man bei Benutzung der Nebenbrennlinie zur Verbreiterung des Spektrums das Okular nicht zu verstellen braucht, bietet diese Vorzüge vor der Haupt-

brennlinie, wenn letztere unter sonst gleichen Umständen auch, wie der Ausdruck für ihre Länge zeigt, ein schmäleres, also lichtstärkeres Spektrum erzeugt.

Zu ganz ähnlichen Schlüssen würde man für die viel seltener zur Verwendung kommende konkave (negative) Cylinderlinse gelangen, da diese zwar eine reelle Nebenbrennlinie liefert, aber keine solche Hauptbrennlinie. Lässt man also das Spektrum in der Ebene der ersteren zu Stande kommen, dann ist es gleich, ob man eine positive oder eine negative Cylinderlinse verwendet. Gewöhnlich schaltet man die Cylinderlinse aber nicht zwischen Objektiv und dessen Brennpunkt ein, weil dabei etwaige Fehler der Linse das Brennpunktsbild verschlechtern und dann dessen Fehler durch das Okular mit vergrössert werden. Meist setzt man die Cylinderlinse zwischen Okular und Auge und dann wie bei den Okularspektroskopen vor oder hinter den Prismensatz; vergl. S. 739ff.

2. Die verschiedenen Spektralapparate.

Im Allgemeinen lassen sich vier Arten von Spektroskopen unterscheiden:

a. Solche, bei denen das Prisma vor dem Objektiv angebracht ist, also das Licht schon zerlegt in das Fernrohr gelangt.

b. Solche, bei denen der Prismensatz in den von dem Objektiv erzeugten Lichtkegel nach dessen Vereinigung eingeschaltet wird und zwar entweder vor dem Eintritt in das Okular oder nach dem Durchgang durch das Okular; das sind die verschiedenen Formen der Okularspektroskope.

c. Solche, bei denen das Spektroskop ein sogenanntes zusammengesetztes ist; d. h., es wird nicht das Licht des Gestirnes unmittelbar zur Erzeugung des Spektrums benutzt, sondern erst die mittelst eines Spaltes aus dem primären Bild ausgeschiedenen Theile. Diese Art der Spektroskope wird überall da angewendet, wo es sich um genaue Messungen im Spektrum handelt, also bei allen als Spektrometer und Spektrographen zu bezeichnenden Instrumenten.

d. Solche, bei denen der die Dispersion hervorbringende Theil kein Prisma ist, sondern ein Gitter, durch welches die Beugung entweder in durchfallenden oder in reflektirtem Lichte hervorgebracht wird.

a. Objektivspektroskope.

Stellt man vor das Objektiv eines Fernrohres ein Prisma, so werden die Strahlen eines Gestirnes nahe im Fokus des Objektivs in Form eines der Dispersion des Prismas entsprechenden Spektrums vereinigt, wie Fig. 700 erkennen lässt. Man erhält auf diesem Wege die einfachste Anordnung eines Sternspektroskops; und in der That hat schon FRAUNHOFER im Jahre 1823 ein solches zur Beobachtung verwendet. In der Figur würden sich die Strahlen mittlerer Brechbarkeit etwa in der optischen Axe des Objektivs in C vereinigen, während die violetten in der Gegend von V und die rothen in der Richtung nach R hin Bilder des Sternes liefern würden.[1])

Obwohl die Verwendung des Objektivprismas danach sehr einfach ist, so haften derselben doch auch manche Mängel an, welche die Anwendung

---

[1]) In Wirklichkeit hängt die Lage und Form des Spektrums natürlich wesentlich von der Konstruktion des Objektivs ab und kann unter Umständen recht komplicirt sein.

erheblich beschränken. Zuerst ist es schwer, mit einem solchen Prisma die optische Kraft eines grossen Fernrohres ganz auszunutzen, da sonst die Flächen des Prismas der Öffnung des Fernrohrs gleich kommen müssten. Ein solches Prisma würde aber schon für Öffnungen von 30 und mehr Centimeter sehr theuer und sehr schwer werden, wenn man demselben auch nur einen geringen brechenden Winkel geben wollte. Dadurch ist sofort klar, dass man dem letzteren überhaupt nur beschränkte Werthe geben kann. Dagegen kommt aber die grosse Brennweite, Vereinigungsweite, und die damit zusammenhängende starke Vergrösserung der Fernrohre wieder zu Gunsten des Objektivprismas in Betracht. Deshalb ist es auch nicht nöthig, dem Prisma einen grossen brechenden Winkel zu geben, um doch ein linear ausgedehntes Spektrum zu erhalten. Setzt man z. B. ein Flintglasprisma mit 12^0 brechendem Winkel vor ein Fernrohr von 3 m Brennweite, so wird, wenn das Prisma im Minimum der Ablenkung steht, der einfallende Strahl mit dem austretenden einen Winkel von etwa $7^0 48'$ machen, und wenn ferner für die C und G Strahlen die Brechungsexponenten zu resp. $n_c = 1{,}6297$ und $n_g = 1{,}6603$ angenommen werden, findet sich der Dispersionswinkel zwischen diesen beiden Strahlen zu 22,2 Bogenminuten. Auf die Brennweite von 3 m giebt das für die lineare Ausdehnung des Spektrums 19,3 mm. Bei einer zwanzigfachen Vergrösserung hat dasselbe also eine scheinbare Länge von 386 mm. Für ein gutes Objektiv kann man bei diesen Dimensionen den Durchmesser des Brennpunktbildes eines Sternes mittlerer Helligkeit zu etwa 1—2 Bogensekunden oder für 3 m Brennweite zu etwa 0,015 bis 0,030 mm annehmen. Der Unterschied der Wellenlängen der C und G Strahlen beträgt aber nahe 225 $\mu\mu$; das würde also im Spektrum noch Bilder des Sterns scharf getrennt erkennen lassen, welche um etwa 0,09 bis 0,18 $\mu\mu$ von einander abstehen. Die beiden D-Linien haben eine etwa um 0,6 $\mu\mu$ verschiedene Wellenlänge, also wäre eine den obigen Verhältnissen entsprechende Dispersion schon eine ziemlich erhebliche.

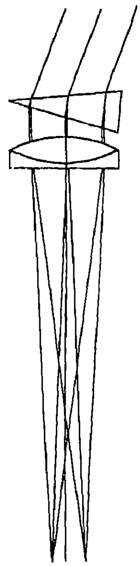


Fig. 700.

Die trennende Kraft einer solchen Spektroskopeinrichtung wird aber noch etwas durch die unvermeidliche Luftunruhe und kleine Formfehler der optischen Theile herabgedrückt. Die Cylinderlinse, welche bei Okularbeobachtungen hier nöthig ist, schaltet man aus dem oben angegebenen Grunde am besten zwischen Auge und Okular ein. Die Verwendung eines Objektivprismas gestattet eine Betrachtung einer grossen Anzahl Sternspektren auf einmal; denn alle Sterne, welche sich im Gesichtsfeld befinden, werden gleichzeitig Spektren liefern. Es eignet sich daher das Objektivprisma besonders zu allgemeinen Untersuchungen und Durchmusterungen der Gestirne bezüglich ihrer Lichtqualität, umsomehr, da man an diesen Spektren auch mit gewöhnlichen Mikrometerapparaten, welche sich etwa doch an dem betreffenden Fernrohr befinden, Ausmessungen der Spektren vornehmen kann.

Eine Unannehmlichkeit hat die Anwendung des Objektivprismas in sofern, als die optische Axe des Fernrohrs nach einem anderen Punkte des Himmels gerichtet werden muss als nach dem, an welchem das zu beobachtende Gestirn steht. Der Unterschied beider Richtungen beträgt für kleine brechende Winkel etwas mehr als die Hälfte des Letzteren; vergl. oben: Brechender Winkel 12^0, Ablenkung 7^0 48′. Man kann diesen Betrag bei der Einstellung leicht in Rechnung ziehen, wenn man die brechende Kante des Prismas entweder parallel der täglichen Bewegung oder senkrecht dazu stellt. Die erste Stellung hat noch den Vortheil, dass man bei photographischen Aufnahmen der Spektren auch ohne Cylinderlinse durch Änderung der äquatorealen Bewegung des Fernrohrs das Spektrum verbreitern kann.

Die allgemeine Einrichtung eines Objektivprismas zeigt die Fig. 701. Es ist a ein Ring, welcher vor der Objektivöffnung durch Schrauben fest-

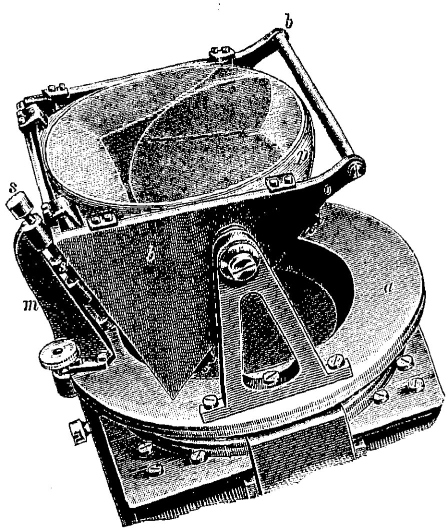


Fig. 701.

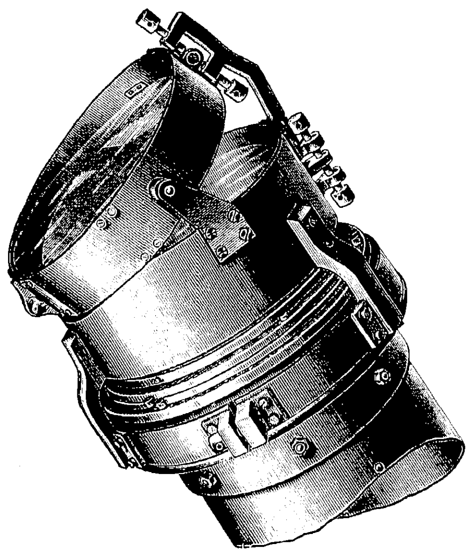


Fig. 702.

geklemmt werden kann und der auf seiner Vorderfläche zwei Ständer trägt, welche der Axe des Rahmens b, in welchem das Prisma p gefasst ist, als Lager dienen. Die Schrauben bei s und s′ dienen dazu, das Prisma um die erwähnte Axe etwas zu drehen, sodass die jeweils betrachteten Theile des Spektrums ins Minimum der Ablenkung für die optische Axe des Fernrohrs zu stehen kommen. Man hat auch, um eine grössere Dispersion zu erzielen, zwei solche Prismen über einander angeordnet, wie es Fig. 702 erkennen lässt, doch wird dann das Gewicht zu gross und die Kosten für zwei solche Prismen sind bei einigermassen erheblicher Öffnung sehr bedeutend. Merz hat auch versucht, Objektivprismen mit gerader Durchsicht zu bauen, doch muss man die brechenden Winkel der einzelnen Theile so gross machen, dass die für zwei Prismen oben erwähnten Übelstände in noch erhöhtem Maasse auftreten.[1]

---

1) Merz baute ein solches Prisma für H. v. Camphausen. Bei diesem Instrument ist der brechende Winkel des Crownglasprismas 36^0 und der des Flintglasprismas 25^0.

Das für das Collegio Romano von MERZ gebaute Objektivprisma, mit dem SECCHI seine zahlreichen, wenn auch vielleicht nicht ganz der Neuzeit entsprechenden Beobachtungen gemacht hat, ist in nebenstehenden Fig. 703, 704 u. 705 dargestellt.

In Fig. 703 ist dasselbe vollständig montirt abgebildet, während Fig. 704 das Lager des Prismas und Fig. 705 das Prisma selbst aus dem Lager herausgenommen darstellt. Das Prisma P sitzt in einem Ringe, welcher mit zwei seitlichen Zapfen a a_1, um eine wagerechte Axe drehbar, zwischen den Schrauben b b_1 in einen zweiten Ring eingelegt werden kann. Letzterer Ring lässt sich mit der Kapsel, mit welcher der ganze Apparat auf die Ob-

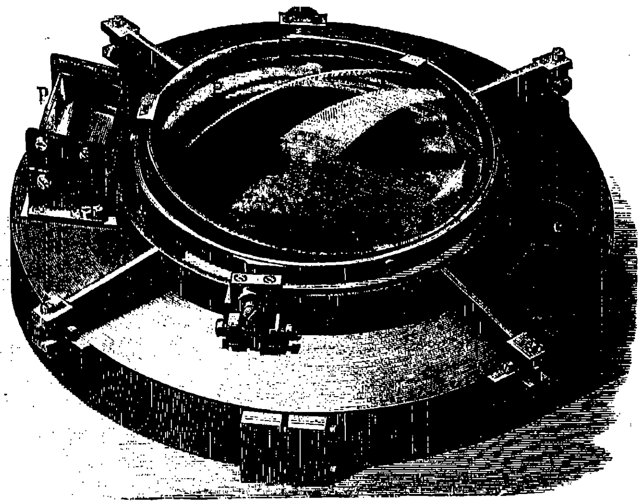


Fig. 703.
(Aus Schellen, Spektralanalyse.)

jektivfassung gesteckt wird, rund herum drehen, wodurch es ermöglicht ist, dem Prisma selbst jede beliebige Stellung und Neigung zu dem Objektiv und zu der Axe des Fernrohrs zu geben.

Um das Einstellen des Instruments auf einen Stern zu erleichtern, hat die Kapsel, welche den Prismenring trägt, bei c eine Öffnung, durch welche man direkt nach dem Stern hinsehen kann; dieser Öffnung gegenüber ist auf der Kapsel noch ein achromatisches Prismensystem p von gleicher Ablenkung, wie sie das Prisma P besitzt, angebracht, welches das Einstellen eines Sterns wesentlich erleichtert. Der brechende Winkel des Prismas beträgt 12°, seine Öffnung misst 6 Pariser Zoll und die Fassung ist, wie die Figuren zeigen, mit den nöthigen Korrektionsvorrichtungen ausgestattet.

Trotzdem dieses Prisma die Objektivöffnung des Refraktors sehr reducirt, übertrifft die Helligkeit der Spektren die bei voller Öffnung des Refraktors von 9 Zoll, wenn zu deren Erzeugung ein Okularspektroskop à vision directe benutzt wird.

Eine ausgedehnte Anwendung hat das Objektivprisma durch PICKERING an der Sternwarte des Harvard College in Cambridge, Mass., gefunden. Obgleich mittelst desselben Vergleichsspektren von irdischen Stoffen wohl nicht

zu erhalten sind, hat er doch auch Beobachtungen über Linienverschiebungen bei engen Doppelsternen mit demselben angestellt.[1]) Den Umstand, dass die Anbringung oder die Fortnahme des Objektivprismas am Fenrrohr mit grossen

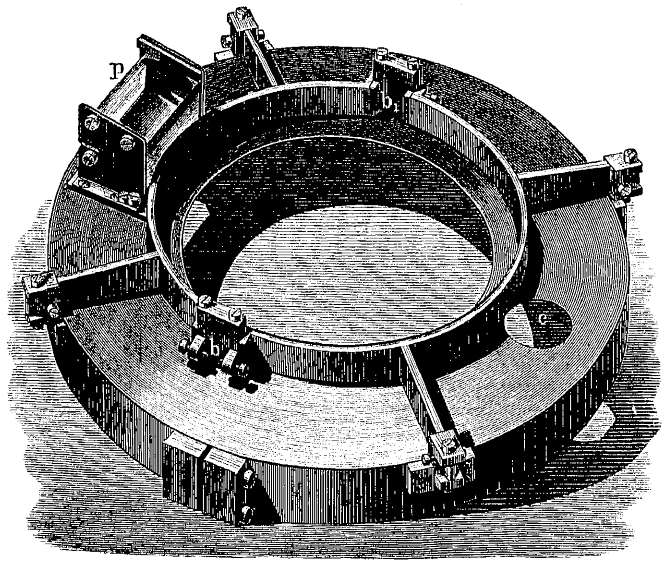


Fig. 704.
(Aus Schellen, Spektralanalyse.)

Schwierigkeiten verknüpft ist, hat Pickering auf eine praktische Weise beseitigt, die allerdings eine noch weitere Belastung des Fernrohrs im Gefolge hat. Das oder die Prismen befinden sich bei seiner Anordnung in

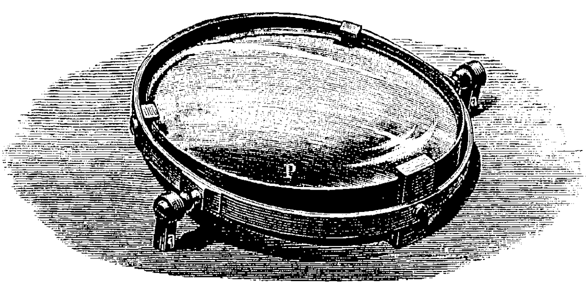


Fig. 705.
(Aus Schellen, Spektralanalyse.)

einer Messingbüchse, Fig. 706, welche um zwei Axen drehbar vor dem Objektiv befestigt ist und durch Gegengewichte ausbalancirt wird. Man kann nun mit leichter Mühe das Prisma durch Drehung der Büchse von dem Objektive zurückschlagen; es sitzt alsdann seitlich am Rohre und behindert den Strahlengang durchaus nicht mehr.

---

[1]) Die Sterne β Aurigae und ζ Urs. maj. sind auf diesem Wege als Doppelsternsysteme mit bedeutender relativer Bewegung von ihm erkannt worden. Zschr. f. Instrkde. 1892, S. 372.

b. Okularspektroskope.

Diese Art der Spektroskope ist sehr bequem anzuwenden, da sie meist ohne irgend welche Veränderung am Fernrohre selbst benutzt werden kann. Die Helligkeit der erzeugten Spektren ist wohl geringer als bei den Objektivprismen, übertrifft aber die eines zusammengesetzten Spektroskops von annähernd gleichen Dimensionen doch bedeutend. Allerdings sind exakte Messungen mit einem Okularspektroskop kaum ausführbar, höchstens der Vergleich zweier Spektren.

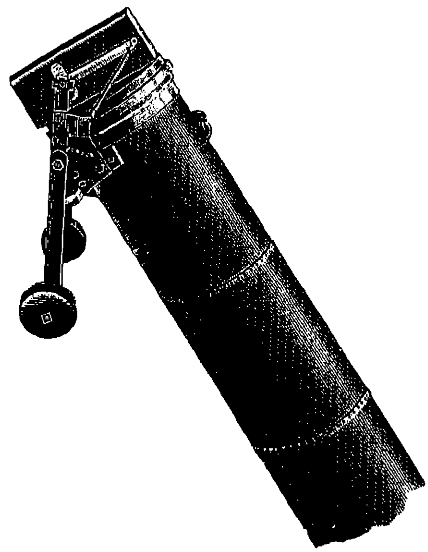


Fig. 706.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1892.)

Besonders eignen sich diese Apparate zur Erkennung des allgemeinen Charakters der Sternspektren, und sie dienen deshalb in Verbindung mit Fernrohren grosser Öffnung zu Durchmusterungsarbeiten und dergl., wie sie namentlich in Potsdam ausgeführt werden. Da die Strahlen das Okularspektroskop häufig mit starker Konvergenz oder Divergenz durchsetzen, ist bei ihnen das austretende Strahlenbündel nur dann homocentrisch, wenn man einen geradsichtigen Prismensatz verwendet. In der That sind die Okularspektroskope fast immer Prismensätze à vision directe; vergl. S. 731. Die zur Verbreiterung des Spektrums nöthige Cylinderlinse kann sowohl vor dem Prismensatz, als auch zwischen diesem und dem Auge eingeschaltet werden. Fig. 708 stellt eine dem Apparat vielfach gegebene Einrichtung dar. Mittelst des Ringes d d lässt sich die Hülse A, welche den Prismensatz a b a (a Crownglas und b Flintglas) enthält, vor das Okular schrauben oder einfach aufstecken. In dem okularähnlichen Theile B befindet sich die hier bikonkav gewählte Cylinderlinse.

Eine andere von Zöllner zuerst getroffene Anordnung giebt Fig. 707 wieder.[1]) Der Prismensatz ist in der Hülse C D gefasst, diese wird in eine zweite Hülse A B geschoben, welche vor das Okular O_1 O_2 geschraubt werden kann. Die Schraube S hält die innere Hülse in der äusseren fest. L ist die Cylinderlinse und O das Okulardiaphragma.

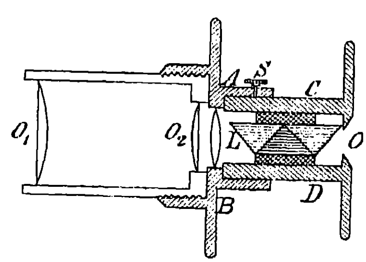


Fig. 707.

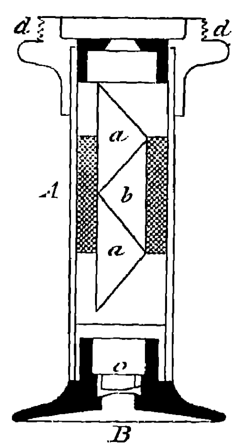


Fig. 708.

[1]) Berichte der Kgl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften, 23. April 1874.

Soll mit dem Instrumente das Spektrum eines Sterns beobachtet werden, so wird zunächst die Hülse CD mit dem Prisma entfernt und das Okular so eingestellt, dass dem in O befindlichen Auge eine scharfe Lichtlinie erscheint. Es ist dabei wesentlich, dass sich das Auge ungefähr in derselben Entfernung von der Linse L befinde wie bei Anwendung des Prismas. Hierauf wird die Hülse CD so eingesetzt, dass die brechende Kante des Prismas parallel der die erwähnte Lichtlinie bildenden Nebenbrennlinie liegt und somit das Spektrum seine grösste Breite erhält.

Die Dimensionen dieses Spektroskops können sehr klein genommen werden, da die Breite des aus dem Okular austretenden Lichtbündels eine geringe ist, nämlich niemals grösser als die Pupillenöffnung des menschlichen Auges; bei schwachen Lichteindrücken also höchstens etwa 8 mm. Bei derartig kleinen Prismensystemen ist die nöthige Veränderung der Okularstellung bei Benutzung der Nebenlinie sehr gering, sie ist fast ganz unmerklich, sobald das aus dem Okular austretende Strahlenbündel nur schwach divergirt, wie dies stets bei guten Okularen der Fall ist.

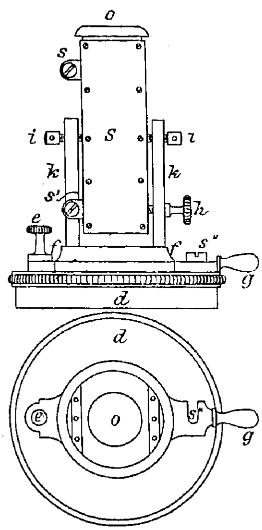


Fig. 709.
(Nach Handwörterbuch d. Astronomie.)

Dieser Umstand verbunden mit der Leichtigkeit, die Hülse mit Prismen und Cylinderlinse sofort abnehmen oder aufsetzen zu können, gewährt den ausserordentlichen Vortheil, zu untersuchende schwächere Sterne ohne Weiteres in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen, und sie dann nach der Befestigung der Hülse spektroskopisch untersuchen zu können, wodurch Schwierigkeiten in der Identificirung der Sterne oder Verwechslungen möglichst ausgeschlossen werden.

Hat man mehrere Hülsen mit verschieden stark dispergirenden Systemen zur Verfügung, so verursacht es keine nennenswerthe Mühe, für jeden einzelnen Fall die beste Dispersion herauszusuchen.

Noch etwas weiter vereinfacht hat Konkoly die Handhabung dieser Spektroskope, indem er einem solchen die in Fig. 709 dargestellte Einrichtung gab, er erreichte damit sogar den Vortheil, dass durch einfaches Umkehren des Prismensatzes zweierlei Dispersion erhalten wird.

Die beiden Endflächen eines geradsichtigen Prismensatzes haben gegen die Richtung der Lichtstrahlen Neigungen von 45 resp. 80°, so dass die durch die Prismen hervorgerufene Dispersion sich ändert, je nachdem dem einfallenden Lichte die eine oder die andere Endfläche zugewandt ist. Auf dem Okulardeckel d ist eine Platte f mit einer Öffnung, welche dem Okulardiaphragma entspricht, um die Schraube e drehbar befestigt, so dass für gewöhnliche Okularbeobachtungen der ganze Apparat leicht zurückgeschlagen werden kann. Soll aber das Spektroskop benutzt werden, so bringt man es mittelst des Griffes g vor das Okular, wo es durch die Schraube s″ in bestimmter Lage gesichert werden kann. Auf der Platte f sind die beiden

Stützen k befestigt, zwischen denen sich der Kasten s, der den Prismensatz enthält, um die Schräubchen i drehen lässt. Dieser Kasten hat zwei regulirbare Anschläge s und s', welche den Prismen die richtige Lage gegen die optische Axe sichern, indem sie gegen eine der Stützen k anschlagen. Die Schraube h klemmt dann den Kasten S fest. Das Okulardiaphragma o ist auf beiden Seiten verwendbar und enthält eine Cylinderlinse.

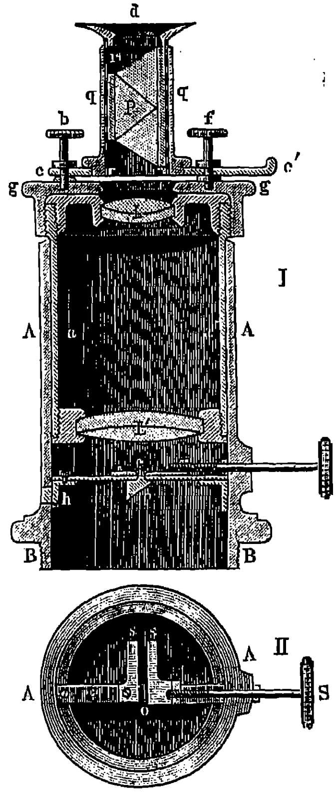


Fig. 710.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1881.)

Dem Nachtheil, dass man mit Okularspektroskopen im Allgemeinen keine Messungen ausführen kann und deren gewöhnliche Einrichtung auch eine Anwendung auf ausgedehntere Objekte als Nebelflecke, Kometen u. s. w. ausschliesst, hat H. C. VOGEL durch eine einfache Zusatzeinrichtung wenigstens in letzterer Beziehung abgeholfen. In die Hülse A eines Okulars a für mittlere Vergrösserungen ist ein Ring h, Fig. 710, eingesetzt, auf welchem ein schmaler Steg o befestigt ist. Auf demselben sind in der Mitte die Spaltbacken s und s' befestigt und zwar da von die eine so, dass sie mittelst der feinen Schraube S bewegt werden kann, um den Spalt mehr oder weniger zu öffnen. Das Okular kann so verschoben werden, dass der Spalt scharf erscheint. Da die Backen s und s' nur einen kleinen Theil des Gesichtsfeldes verdecken, so ist der Vortheil der leichteren Auffindung des zu beobachtenden Objektes nicht geschmälert. Das Objekt lässt sich dann leicht auf den Spalt einstellen, und für den Fall, dass dasselbe eine Ausdehnung hat (Komet oder Nebel), bleibt nur eine Lichtlinie übrig, da der grösste Theil des Objekts durch die Spaltbacken verdeckt wird. Setzt man hinter den Spalt ein kleines Vergleichsprisma p, und lässt

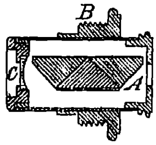


Fig. 711 a.

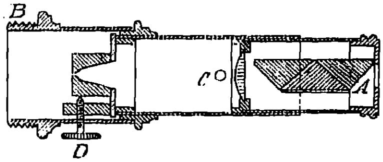


Fig. 711 b.

durch die Öffnung bei h Licht mit bekanntem Spektrum eintreten, so kann man mittelst dieses Apparates auch die in dem zu untersuchenden Lichte auftretenden Linien ihrer Wellenlänge nach einschätzen. Die technische Anordnung des Prismensatzes P, welcher sich in dem Röhrchen q verschieben lässt, wird zweckmässig in der Form, wie sie die Fig. 710 zeigt, ausgeführt.

Auch JOHN BROWNING hat ein sehr ähnliches Spektroskop gebaut.

Seine Konstruktion zeigen die Fig. 711a u. b im Durchschnitt ohne und mit Spalteinrichtung. In der ersten Figur ist der Prismensatz A als einfaches Okularspektroskop in Verbindung mit einer Cylinderlinse C ausgestattet, in Fig. 711b tritt an deren Stelle die Kollektivlinse bei C′ und die Spalteinrichtung bei D.[1])

Diese beiden letzten Arten der Okularspektroskope führen schon über zu den für alle genauen Beobachtungen nöthigen zusammengesetzten Spektroskopen, den Spektrometern und Spektrographen.

c. Zusammengesetzte Spektroskope oder Spektrometer.

Die Einrichtungen dieser Instrumente sind so ausserordentlich vielfältig und den einzelnen Zwecken immer besonders angepasst, dass ihre Beschreibung allein einen ganzen Band füllen würde, wenn sie im Einzelnen besprochen und die jeweiligen Vor- und Nachtheile der Konstruktionen gegen einander abgewogen werden sollten.

α. Strahlengang.

Der Gang der Lichtstrahlen in einem solchen Spektrometer zur Beobachtung der Gestirne ist schematisch in Fig. 713 dargestellt. Das Objektiv des

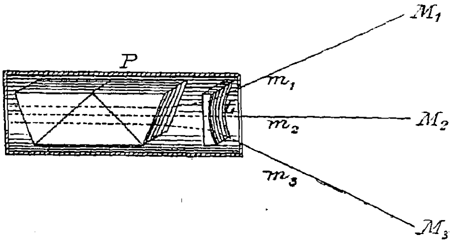


Fig. 712.

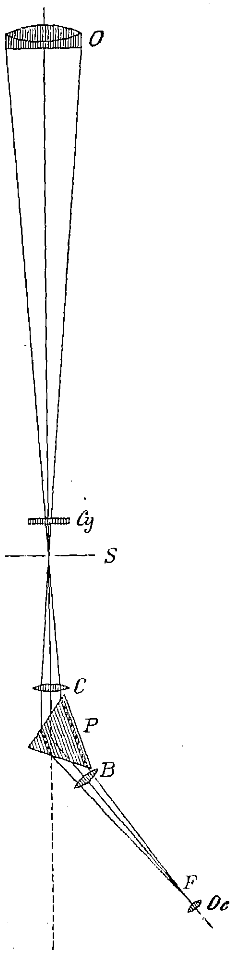


Fig. 713.

Fernrohrs sei O, dann wird in die Brennebene desselben bei S eine Spalteinrichtung eingeschaltet, mittelst welcher aus dem Brennpunktsbild des Objektes ein linienförmiger Theil ausgeschieden wird, der nun seinerseits

[1]) Für die Beobachtung der Spektren von Meteoren u. s. w. hat Browning einen kleinen Handapparat gebaut, welcher ein sehr grosses Gesichtsfeld besitzt. Die Fig. 712 stellt dieses kleine Instrument dar. Der geradsichtige Prismensatz und die grosse plankonkave Cylinderlinse L sind in einer Hülse eingeschlossen. Die Strahlen $M_1 m_1$, $M_2 m_2$, $M_3 m_3$ gelangen alle noch in das Spektroskop und durch die links befindliche Öffnung in das Auge. Der Vortheil des Apparates liegt in seinem grossen Gesichtsfeld, welches 25° umfasst, und darin, dass die scheinbare Geschwindigkeit eines Meteors beträchtlich verkleinert wird. Übrigens kann auch ein einfaches Prisma à vision directe zur Beobachtung von Meteorspektren dienen; was man dabei an Grösse des Gesichtsfeldes durch Weglassen der Cylinderlinse einbüsst, gewinnt man an Lichtstärke der Spektren.

als Lichtquelle für das Spektrometer dient. Um die Strahlen auf das oder die Prismen P parallel gerichtet auffallen zu lassen, wird bei C eine Kollektivlinse angebracht, welche vom Spalt um ihre eigene Brennweite absteht; die nach dem Durchgang durch den Prismensatz P dispergirten Strahlen werden dann durch ein einfaches Okular oder durch ein vollständiges Fernrohr der Betrachtung unterworfen, aber auf alle Fälle müssen sie durch eine Sammellinse B oder bei Benutzung von Prismensätzen à vision directe eventuell durch die Stellung von C wieder zum Bilde vereinigt werden.

Um bei Fixsternen das Spektrum zu verbreitern, schaltet man an irgend einer Stelle noch eine Cylinderlinse Cy ein. Am bequemsten geschieht das bei Benutzung der Nebenbrennlinie zwischen Objektiv und Brennpunkt desselben, also vor dem Spalt.

Einige allgemeine Gesichtspunkte, welche bei der skizzirten Einrichtung eines Spektrometers von Bedeutung sind, sollen hier noch erwähnt werden. J. Scheiner formulirt dieselben folgendermassen:[1])

„Je grösser die Brennweite der Kollimatorlinse genommen wird, um so kleiner wird der Winkel, unter welchem die Spaltbreite erscheint, und gleichzeitig wird die trennende Kraft des Spektroskops grösser. Hiermit muss aber auch der Durchmesser der Kollimatorlinse wachsen, und zwar darf niemals das Verhältniss von Öffnung zu Brennweite bei der Kollimatorlinse kleiner sein als beim Fernrohrobjektive, wenn kein Lichtverlust eintreten soll.

Um ferner möglichst grosse Lichtstärke bei möglichst engem Spalte zu erhalten, ist es durchaus nöthig, den Spalt sehr genau in die Brennebene des Objektivs zu setzen, weil hier der Durchmesser des Strahlenkegels ein Minimum wird. In Folge der fehlerhaften Achromasie des Objektivs befindet sich für die verschiedenen Farben der Brennpunkt in verschiedener Entfernung vom Objektive, es muss also für jede Strahlengattung der Spalt besonders eingestellt werden."

Bei Sternbeobachtungen muss der Spalt stets enger sein als der Durchmesser des Brennpunktbildes, weil sonst bei unrichtiger Stellung des Spaltes dieses und nicht der Letztere als Lichtquelle fungirt. Damit wird der Zweck der Kollimatorlinse zum Theil illusorisch gemacht, d. h. die Strahlen treffen dann nicht parallel auf das Prismensystem.

„Die Dimensionen der übrigen optischen Theile ergeben sich nach Wahl der Kollimatorlinse von selbst, indem sowohl die Öffnung der Prismen als auch die des Beobachtungsfernrohrs nicht kleiner sein darf, als die der Kollimatorlinse. Empfehlenswerth ist es meistens, das Objektiv des Beobachtungsfernrohrs gleich der Kollimatorlinse zu nehmen."

Mit Bezug auf die Stellung des Spaltes zur Richtung der täglichen Bewegung ist es dringend zu rathen, denselben stets parallel dazu zu stellen, damit nicht jede kleine Störung im Gange des Triebwerkes des Äquatoreals den Stern vom Spalt entfernt. Mit ungenügenden Hülfsmitteln sind spektrale Messungen überhaupt kaum ausführbar und die Resultate der Mühe nicht lohnend.

---

[1]) Scheiner l. c. S. 65.

β. Die verschiedenen Spalteinrichtungen.

Die Anordnung, welche man den Spaltrichtungen gegeben hat, sind mannigfacher Natur. Eine solche, welche lange Zeit in Potsdam benutzt wurde, stellt die nebenstehende Fig. 714 dar. „Die Mikrometerschraube M wirkt mit einer feinen Spitze auf den gleichschenkeligen Hebel H, der an seinem untern Ende bei E vermittelst eines beiderseits hervorragenden Stiftes in den Schlitz des gabelförmigen Ansatzstückes E fasst. Durch Vorwärtsdrehung der Mikrometerschraube wird die Spaltbacke, die das Ansatzstück E trägt, nach rechts verschoben und der Spalt geöffnet. Beim Rückwärtsschrauben der Schraube drückt die Spiralfeder F den Spalt wieder zu.

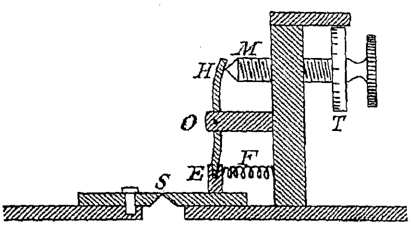


Fig. 714.
(Nach Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

Bei E ist kein einfaches Gelenk verwendet, damit bei einer stärkeren Bewegung des Hebels nicht eine Zerrung der Spaltbacke im Sinne der Normalen zur Spaltebene entstehen kann. Der Kopf der Schraubentrommel ist getheilt, um die Spaltweite messen zu können.

Eine Spaltkonstruktion, die Töpfer beim grossen Wiener Refraktor verwendet hat, zeigt Fig. 715. Bei derselben sitzt die bewegliche Spaltbacke auf

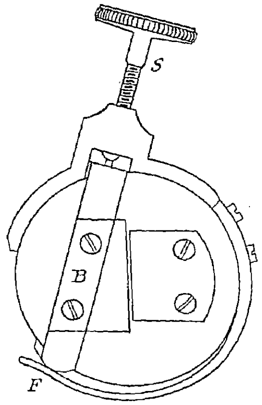


Fig. 715.

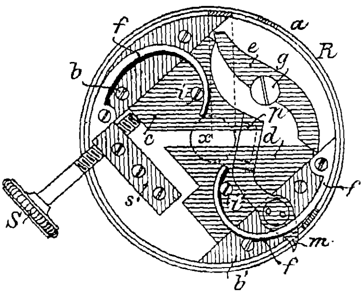


Fig. 716.

(Nach Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

einem Schieber B, dessen Bewegungsrichtung einen kleinen Winkel mit der Spaltkante einschliesst. Durch die Schraube S wird der Schieber gegen die Feder F gedrückt und kann so in seiner Führung hin und her bewegt werden, wodurch sich, wie leicht ersichtlich, die Spaltweite leicht ändern lässt.

Bei diesen beiden Spalteinrichtungen ist nur die eine Backe verstellbar, damit wird aber natürlich bei Änderungen der Spaltbreite auch die Mitte des Spaltes etwas verlegt, und damit auch diejenige des Spaltbildes, d. h. der Spektrallinien relativ zu einem festen Ort im Gesichtsfeld. Um die daraus entstehende Komplikation bei genauen Messungen zu vermeiden, hat man die Spaltanordnungen auch so eingerichtet, dass sich beide Backen symmetrisch verstellen. Dahin gehören z. B. die von Merz getroffenen Ein-

richtungen. Die nebenstehenden Figuren zeigen dieselben. In Fig. 716 gleiten an den Führungsleisten b und b′ die beiden Spaltbacken c und d, deren Schneiden einen Winkel von 45° mit ihrer Bewegungsrichtung einschliessen. Die eine dieser Backen c wird durch Hineindrehen der Schraube S in das in s befindliche Muttergewinde vorwärts geschoben, dabei drückt dieselbe gegen das eine Ende des gleicharmigen Hebels e, welcher seinen Drehpunkt in g hat. Der andere Arm dieses Hebels schiebt sodann die Spaltbacke d um ein gleiches Stück, aber in entgegengesetzter Richtung vorwärts. Dadurch werden die Schneiden von einander entfernt, der Spalt also symmetrisch geöffnet. Dreht man die Schraube S zurück, so müssen beide Schieber den dem Druck der Schraube entgegenwirkenden Federn f und f′ folgen, da diese auf die Stifte i und i′ wirken; es schliesst sich der Spalt daher ebenfalls von beiden Seiten gleichmässig. Den eigentlichen Fassungsring dieser Spalteinrichtung umgiebt noch ein zweiter Ring R, welcher sowohl bei a als bei m eine Durchbohrung hat. Durch letztere greift das kurze Ende eines

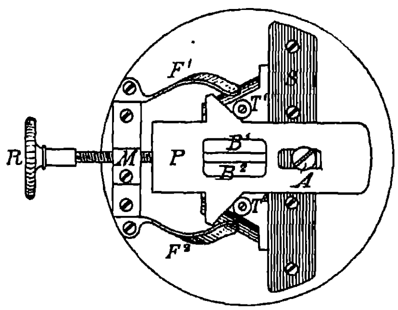


Fig. 717.
(Nach Handwörterbuch d. Astronomie.)

Hebels hindurch, welcher an seinem längeren das Vergleichsprisma p trägt. Wird der Ring R entgegengesetzt dem Uhrzeiger gedreht, so wird der Ansatz m mitgenommen, und das Vergleichsprisma p kommt vor die eine Hälfte der Spaltöffnung x zu stehen. Gleichzeitig tritt aber auch die Öffnung a einer gleichen Bohrung im inneren Ringe gegenüber, sodass durch beide hindurch das Vergleichslicht auf das Prisma gelangen kann.

Bei einer anderen Merz'schen Einrichtung, Fig. 717, werden die beiden Spaltbacken B^1 und B^2 in der Öffnung eines Schiebers P sichtbar. Dieser Schieber lehnt sich mit zwei schiefen Ebenen gegen zwei Stifte T^1 und T^2, welche auf den äusseren Theilen der Spaltbacken angebracht sind. Im Übrigen erhält er seine Führung durch eine Schraube A, welche durch einen Schlitz in ihm hindurch ragt und in die gemeinsame Führungsleiste S eingeschraubt ist. Durch die beiden Federn F^1 und F^2 werden die Schneiden der Spaltbacken erst gegen einander gedrückt. Wird aber die Schraube R in M hineingeschraubt, so presst der Schieber P die Spaltbacken gleichmässig aus einander. Beim Zurückdrehen schliesst sich der Spalt wieder durch den Druck der Federn F^1 und F^2.

Auch von H. Krüss in Hamburg und John Browning in London werden solche symmetrisch wirkende Spaltkonstruktionen vielfach angefertigt.

Es ist von besonderer Bedeutung für das Aussehen des Spektrums, dass die Kanten der Spaltbacken genau geradlinig[1]) und parallel sind. Um die Parallelität derselben zu erhalten, ist häufig die eine derselben in geringem Maasse besonders korrigirbar.

γ. Index und Mikrometereinrichtungen.

Zum Ausmessen der durch Spalt und Prismensatz erzeugten Spektren sind noch Skalen, Indices oder besondere Mikrometereinrichtungen nöthig, durch welche der Ort bestimmter Linien relativ zu anderen bekannten Linien oder auch absolut mit Bezug auf die Wellenlänge fest gelegt werden kann.[2]) Da die Spektren der Sterne häufig sehr schwach sind, so ist die Einrichtung solcher Marken mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Bei kleineren Instrumenten, die weniger zu scharfen Messungen dienen sollen, thut ein mittelst der oben schon erwähnten Vergleichsprismen im Gesichtsfeld gleichzeitig mit dem zu untersuchenden Spektrum erzeugtes Spektrum bekannter Beschaffenheit gute Dienste. Ebenso kann man auch das Bild einer Skala mit den Spektren zugleich im Gesichtsfeld sichtbar machen. Zu diesem Zwecke bringt man z. B. eine geschwärzte oder versilberte Glasplatte Sc, Fig. 718,[3]) auf welcher feine Theilstriche eingerissen sind, in einem seitlich so angesetzten Kollimatorröhrchen an, dass bei Beleuchtung der Skala von aussen deren Bild auf der vorderen Prismenfläche reflektirt wird und mit dem Okular O_1 zugleich mit den Spektren gesehen werden kann. Solche Skalen lassen sich auch, wie die Fig. 719 zeigt, bei kleinen Taschenspektroskopen benutzen, während Indices und Mikrometer nur bei zusammengesetzten Spektroskopen brauchbar sind. Als Index hat man mehrfach

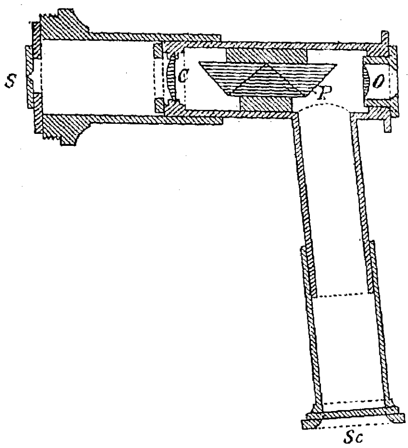


Fig. 718.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1881.)

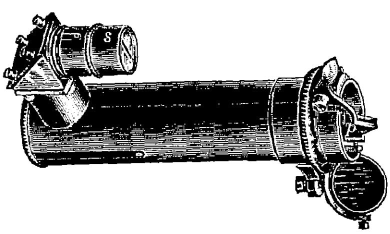


Fig. 719.

[1]) Die Spektren sind sehr häufig mit dunklen Linien in der Längsrichtung durchzogen. Diese rühren von kleinen Unreinheiten an den scharfen Spaltkanten her, da dadurch die Weite des Spaltes und also auch die Lichtintensität geringer ist oder gar kein Licht mehr hindurch kann. Die Kanten müssen als Schneiden ausgebildet sein, und nicht als gegenüber stehende Flächen, da diese leichter zu Störungen Veranlassung geben. Als Material für die Backen verwendet man meist Stahl, auch Legirungen von Platin.

[2]) Kirchhoff hatte eine willkürliche Millimeterskala für die Identificirung der Linien eingeführt, jetzt pflegt man allgemein direkt auf die Wellenlängen zu beziehen und zwar meist in $\mu\mu$ d. h. in Einheiten von $\frac{1}{1000} \times \frac{1}{1000}$ mm.

[3]) Die hier abgebildete Einrichtung rührt von H. C. Vogel her. Bei Kabinetspektroskopen benutzt man auch ganz ähnliche Einrichtungen; vergl. Kayser, Schellen u. s. w.

Striche oder Spitzen, welche z. B. mit Leuchtfarbe bestrichen sind, verwendet, wodurch ein sehr zartes Phosphorescenzlicht erzeugt wird, welches durch die Stärke der vorherigen Beleuchtung leicht variirt werden kann.

Ein zweckmässiger Index ist auch der von HILGER in London nach VOGEL's Angaben hergestellte.[1] „Ein kleines, schmales Glasprisma, in Fig. 720 in der Seitenansicht und von oben gesehen dargestellt, ist an den Flächen a, b und f mattgeschliffen und geschwärzt. Die Oberfläche c ist versilbert und auf dieser Versilberung ist eine feine Linie m m eingerissen. Licht, welches auf die Fläche e fällt, geht durch das Prisma, wird an der Fläche d reflektirt und erleuchtet die zarte Linie m m. Dieses kleine Prisma P ist in einer Messinghülse gefasst und wird, wie aus der Figur, welche zugleich den vorderen Theil des Beobachtungsfernrohres mit Okular darstellt, ersichtlich ist, im Fernrohr angebracht. Die Lichtlinie reicht bis nahe zur Mitte des Gesichtsfeldes. M ist ein Spiegel, der das Licht einer Lampe in das Prisma P gelangen lässt. Da bei lichtschwachen Spektren die Erleuchtung der Linie nur eine sehr geringe zu sein braucht, kann die Lampe weit vom Beobachter entfernt stehen. Beiläufig sei bemerkt, dass der Apparat noch so eingerichtet ist, dass man nach Belieben das Prisma mit der hellen Linie mit einer dunklen Metallspitze vertauschen kann."

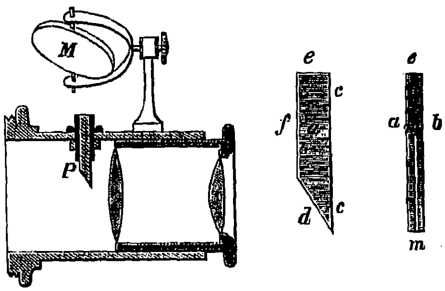


Fig. 720.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1881.)

Ebenso wie bei gewöhnlichen mikrometrischen Messungen im Gesichtsfeld eines Fernrohres hat man auch die Stellungen der Messvorrichtung, also des Fadens, des Index u. s. w. auf automatische Weise zu verzeichnen versucht. Solcher Registrirvorrichtungen für Spektroskope giebt es mehrere. Fig. 721 zeigt eine solche von JOHN BROWNING; bei ihr wird die ganze Mikro-

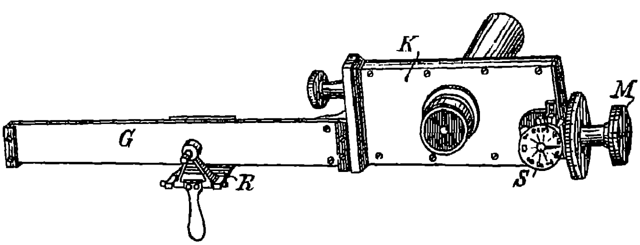


Fig. 721.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

metereinrichtung mit dem Okular des Beobachtungsfernrohres verbunden und besteht im Wesentlichen aus einer am Mikrometerkasten K seitlich angebrachten schmalen Platte G, auf welcher ein berusster Glasstreifen befestigt werden kann. Vor diesem wird bei Bewegung des Mikrometers gleichzeitig mit dem Index

[1]) Zschr. f. Instrkde. 1881, S. 21.

im Gesichtsfeld ein leichtes Reisserwerk R entlang geführt, mit dem für jede Einstellung, die einer Spektrallinie entspricht, ein Strich auf der Glasplatte gezogen werden kann. Grosse Genauigkeit gewährt dieser Apparat nicht und ausserdem ist er wegen der berussten Glassplatte sehr vorsichtig zu behandeln.

Einen einfacheren Apparat hat H. C. VOGEL bei einem Spektralapparate von A. HILGER anbringen lassen. Die Fig. 722 u. 723 stellen das ganze Spektroskop, wie es für den Potsdamer Refraktor gebaut wurde und den Registrirapparat noch besonders im grösseren Maassstabe dar. SCHEINER beschreibt denselben folgendermaassen:[1] „In einem der Leichtigkeit wegen durchbrochenen Gestelle ist Kollimatorrohr und Beobachtungrfernroht befestigt. Letzteres ist auf einem Arm A angebracht, der sich um den Punkt Z drehen lässt. Anstatt eines Prismas besitzt der Apparat zwei Prismen von 45° brechen-

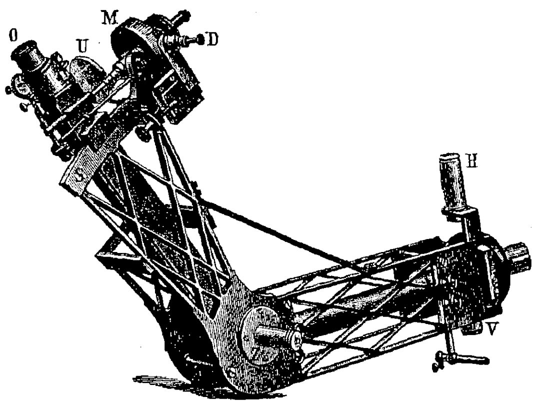


Fig. 722.

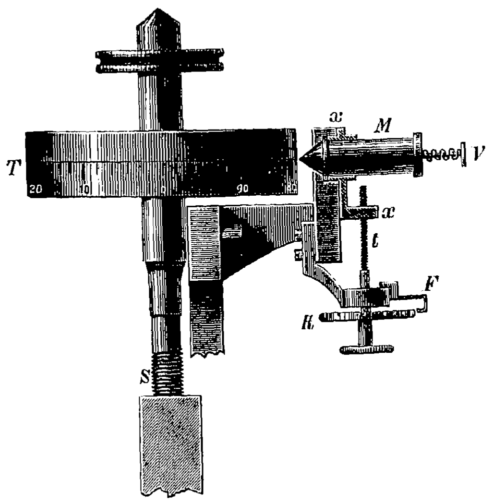


Fig. 723.

(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

dem Winkel, von denen eins am Objektive des Beobachtungsrohres, das andere an demjenigen des Kollimatorrohres symmetrisch befestigt ist. Durch diese Einrichtung ist erreicht, dass bei jeder Stellung des Beobachtungsrohres das Minimum der Ablenkung für die betreffende Strahlengattung hergestellt wird. Bei S trägt das Gestell einen getheilten Sektor, und die Einstellung des Beobachtungsrohres kann durch den am Arme A befindlichen Nonius N abgelesen werden.

Die Bewegung und Einstellung des Beobachtungsrohres erfolgt durch die Mikrometerschraube M, die eine sehr breite und fein eingetheilte Trommel besitzt. Die ganzen Umdrehungen werden vermittelst der durch Reibung mitgeführten Scheibe U abgelesen. Bei D befindet sich die Registrireinrichtung. Neben der breiten Trommel T, Fig. 723, ist ein Farbenbehälter M befestigt, dessen zugespitztes, mit feiner Öffnung versehenes Ende sich in geringem Abstande von der Trommel befindet. Bei einem leichten Druck

---

[1]) Scheiner l. c. S. 92 u. 93.

auf den Stift V tritt die mit Farbe versehene Spitze des Stiftes hervor und markirt auf der Trommel einen Punkt. Damit nun bei mehrfacher Wiederholung des Druckes die verschiedenen Punkte nicht auf einander fallen können, kann die Farbenbüchse M durch die Schraube t verschoben werden. Die Feder F schnappt in Einkerbungen der Scheibe R ein, so dass man die Farbenbüchse um gleiche Intervalle verschieben kann. Man kann auf diese Weise 15 Einstellungen hinter einander aufzeichnen, ohne im Zweifel über die Reihenfolge der Beobachtungen zu sein.

Hat man einen solchen Beobachtungssatz ausgeführt, so muss man alsdann die Punkte ablesen und von der Trommel entfernen, um weiter beobachten zu können."

Nach diesen, den allgemeineren Bau der Spektrometer und ihre einzelnen Theile betreffenden Erläuterungen, lasse ich noch die Beschreibung einiger ganzen Instrumente folgen, mich im Übrigen aber auf die Angabe der betreffenden Litteratur beschränkend.

δ. Beschreibung einiger Sternspektrometer.

Grosses Spektrometer von MERZ. Dieser von dem Verfertiger vielfach ausgeführte Apparat ist in den Fig. 724 u. 725 in verschiedenen Ausführungen dargestellt. Die erste Figur giebt einen Durchschnitt der ein-

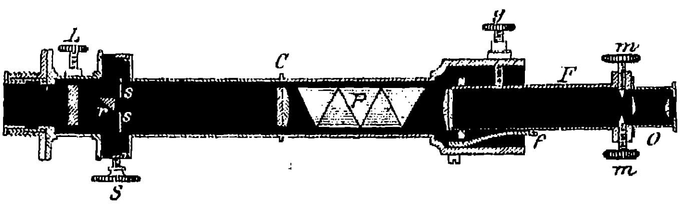


Fig. 724.

fachen Konstruktion, während die zweite die allgemeine Anordnung der neueren Apparate darstellt.[1])

In Fig. 725 ist K ein eine Positionskreistheilung tragender Ring, mit welchem das ganze Instrument in den Okularauszug eines Fernrohrs ein-

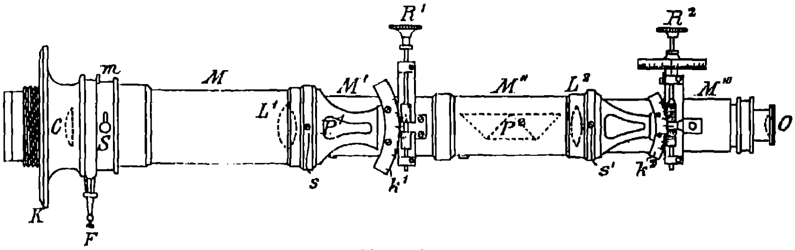


Fig. 725.
(Nach Handwörterbuch d. Astronomie.)

geschraubt werden kann. In diesem Ringe dreht sich zunächst das den Spalt bei S und die Kollimatorlinse bei L' enthaltende Rohr M. Vor den

[1]) Ich beschreibe hier nur das zweite Instrument näher; die Einrichtung, die in Fig. 724 dargestellt ist, wird damit auch sofort verständlich sein.

Spalt kann auch eine Cylinderlinse bei C eingeschoben werden. Um zwei Spitzenschräubchen s dreht sich sodann im ersten Rohr ein zweites, M′, welches einen Prismensatz P^1 enthält und mit diesem ist, falls man eine stärkere Dispersion erzielen will, ein zweites ganz ähnliches Rohr M″ zu verbinden, welches den Prismensatz P^2 enthält. Die Gewinde und Bewegungscentren sind so abgepasst, dass die brechenden Kanten der Prismensätze stets leicht und sicher in die richtige Stellung gegeneinander und zum Spalt gebracht werden können (Marken auf den Rohren). In M″ bewegt sich um die Schräubchen s′ ganz ebenso wie M′ in M, das eigentliche Beobachtungsfernrohr M‴ mit der Mikrometerschraube R^2, welche das ganze Fernröhrchen L^2O durch eine Schraube ohne Ende an der Skala k^2 messbar entlang führt.

Da man durch diese Bewegung allein nicht gut das ganze Spektrum in geeigneter Weise in das Gesichtsfeld bekommen kann, namentlich bei der grösseren Dispersion, so ist auch die Bewegung um s durch eine ähnliche Schraube R^1, auf der Skala k′ messbar auszuführen. Im Gesichtsfeld ist gewöhnlich ein Stift oder eine mit Leuchtfarbe bestrichene Spitze zur Pointirung angebracht. Die Spalteinrichtung ist ganz konform der in Fig. 716 dargestellten und auf S. 745 näher beschriebenen.

Sternspektroskop von Repsold für das Potsdamer Observatorium.[1]) Dieses Instrument erfüllt die Anforderungen, welche an ein Sternspektrometer gestellt werden müssen, in weit besserer Weise und ähnelt auch in seinem Bau einem solchen für Kabinetbeobachtungen weit mehr, zumal der Apparat auch auf besonderem Stative, wie ihn Fig. 726 darstellt, direkt als Spektrometer aufgestellt werden kann. Die Scheibe A dient zur Befestigung des Apparates am Fernrohr. Das Kollimatorrohr C lässt sich in dem Rohre L mittelst des Triebes c um einige Centimeter verschieben. Die Verschiebung kann an einer Skala, welche oberhalb am Rohre L, in der Nähe des Triebes c, sich befindet, bis auf 0,1 mm genau abgelesen werden. Mittelst der Mikrometerschraube m kann man die Weite des Spaltes, vor dem bei S eine Cylinderlinse angebracht werden kann, messen. In dem Rohre L befinden sich der Schraube m gegenüber zwei Öffnungen, durch welche man zu Schrauben gelangt, die eine geringe Drehung des Spaltes ermöglichen, um denselben genau parallel der brechenden Kante des Prismas und dem Mikrometerfaden im Beobachtungsfernrohr D stellen zu können. Mit dem Rohre L ist ein starker Ring in fester Verbindung, auf welchem ein Theilkreis von 95 mm Durchmesser angebracht ist; mit diesem ist zugleich der bewegliche Theil des Apparates, das Beobachtungsfernrohr D mit den Mikroskopen M zur Ablesung des Kreises, verbunden. Durch das Gegengewicht N werden diese Theile des Instruments ausbalancirt.

Die Kapsel B ist von oben durch einen Deckel verschlossen, auf welchem ein Thermometer so angebracht ist, dass die Thermometerkugel frei in das Innere ragt. Die cylindrische Wandung der Kapsel besteht aus mehreren Theilen, die sich in einander verschieben, so dass die Kapsel B immer geschlossen bleibt, wenn das Fernrohr D, welches mit einem der beweglichen

[1]) Scheiner l. c. S. 85 ff.

Cylinderstücke verbunden ist, bewegt wird. In dieser Kapsel kann sowohl ein gewöhnliches Flintglasprisma, als auch ein stark zerstreuendes Rutherfurd'sches Prisma eingesetzt werden, ohne den Apparat vom Fernrohr nehmen zu müssen. Diese Prismen mit ihren Fassungen werden bei U durch eine Gegenmutter u gehalten und von da aus können dieselben auch für jeden Theil des Spektrums auf das Minimum der Ablenkung eingestellt werden.

Die Bewegung des Fernrohrs D kann sowohl frei als auch mittelst der Tangentialschraube H H bewirkt werden, deren Sektor durch die Scheibe R mit der betreffenden Axe geklemmt werden kann. Mittelst des Triebes d kann das Okular durch die Skala bei D bis auf 0,1 mm genau eingestellt werden.

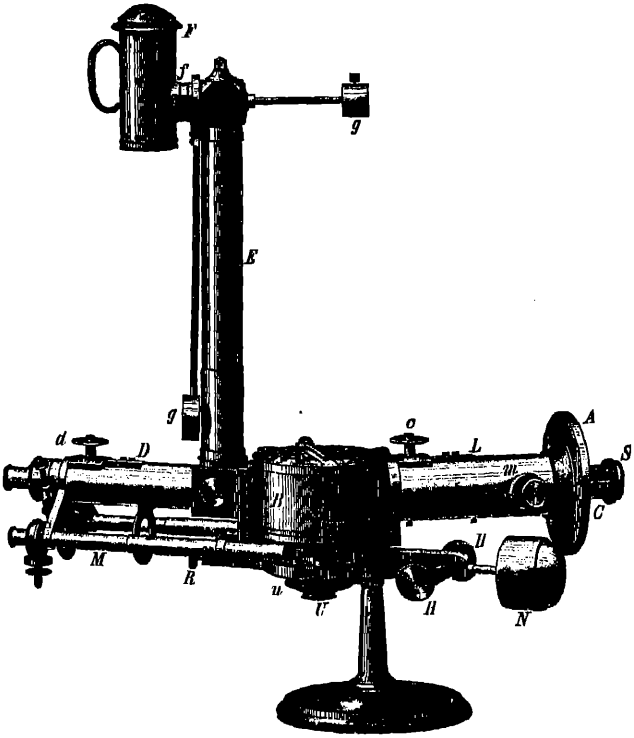


Fig. 726.
(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

Die Messungen erfolgen mittelst der Mikroskope M an dem unter der Kapsel B liegenden von 10′ zu 10′ getheilten Kreise. Die besonders sorgfältig beachtete Beleuchtung wird durch die kleine Öllampe F bewirkt, welche sich in erheblicher Entfernung vom Prisma am Ende des Rohres E befindet, um einer Erwärmung des Apparates vorzubeugen. Der cylindrische Ansatz f trägt eine Linse, welche die von dem Lämpchen ausgehenden Strahlen nahezu parallel macht. Diese fallen zunächst auf einen Spiegel, der sich in dem Kopf des Rohres E befindet. Die Lampe sowie der Würfel sind drehbar um Axen, die auf einander senkrecht stehen. Durch die Gegengewichte g g wird die Lampe in allen Lagen, die der Apparat einnimmt, stets vertikal gehalten (vergl. S. 398).

Einen kleinen Apparat desselben Observatoriums stellt Fig. 727 dar. Mittelst des Rohres R kann dieser in den Okularstutzen eines Fernrohrs eingesetzt werden, so dass durch eine in dem engeren Rohre C gefasste Cylinderlinse das Sternbild auf den durch die Schraube S regulirbaren Spalt fällt. Vor demselben, dessen Einrichtung aus Fig. 728 ersichtlich ist, befindet sich statt eines Vergleichsprismas ein kleines in der Mitte durchbrochenes Metallspiegelchen unter 45⁰ gegen die optische Axe geneigt; durch dieses kann Vergleichslicht in das Spektroskop gelangen, wenn vor die Öffnung bei V ein Geissler'sches Rohr mittelst der Klemmen K

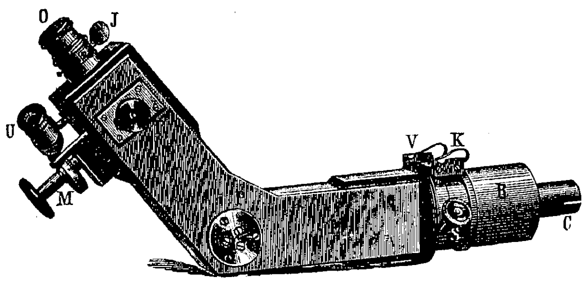


Fig. 727.
(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

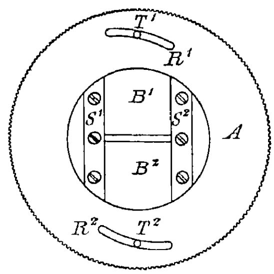


Fig. 728.

befestigt wird. Das zu untersuchende Spektrum wird dann zu beiden Seiten von gleichartigem Vergleichsspektrum eingefasst, was namentlich für exakte Messungen von grossem Vortheile ist.[1]) In dem Theile L befindet sich der Kollimator, bei P ist ein einfaches Flintglasprisma von 60⁰ brechendem Winkel regulirbar eingesetzt, um die Mitte dieses Prismas ist ein kleines Fernrohr drehbar, dessen Okular sich bei O befindet und dessen Drehung um P

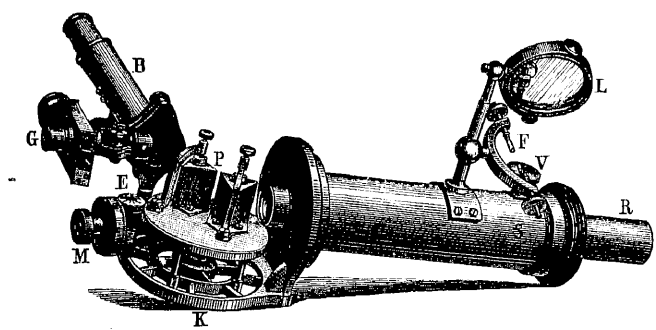


Fig. 729.
(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

durch das Mikrometer M gemessen werden kann. Als Marke im Gesichtsfeld dient ein Faden, welcher durch das Spiegelchen J je nach Bedarf beleuchtet werden kann.

[1]) Die Spaltbacken B^1 B^2 werden symmetrisch zu einander verstellt, indem dieselben mittelst Stiften T^1 T^2 in geeigneten Rillen R^1 R^2 des äusseren Ringes A geführt werden, durch dessen Drehung die Entfernung der Stifte von einander in leicht ersichtlicher Weise variirt wird.

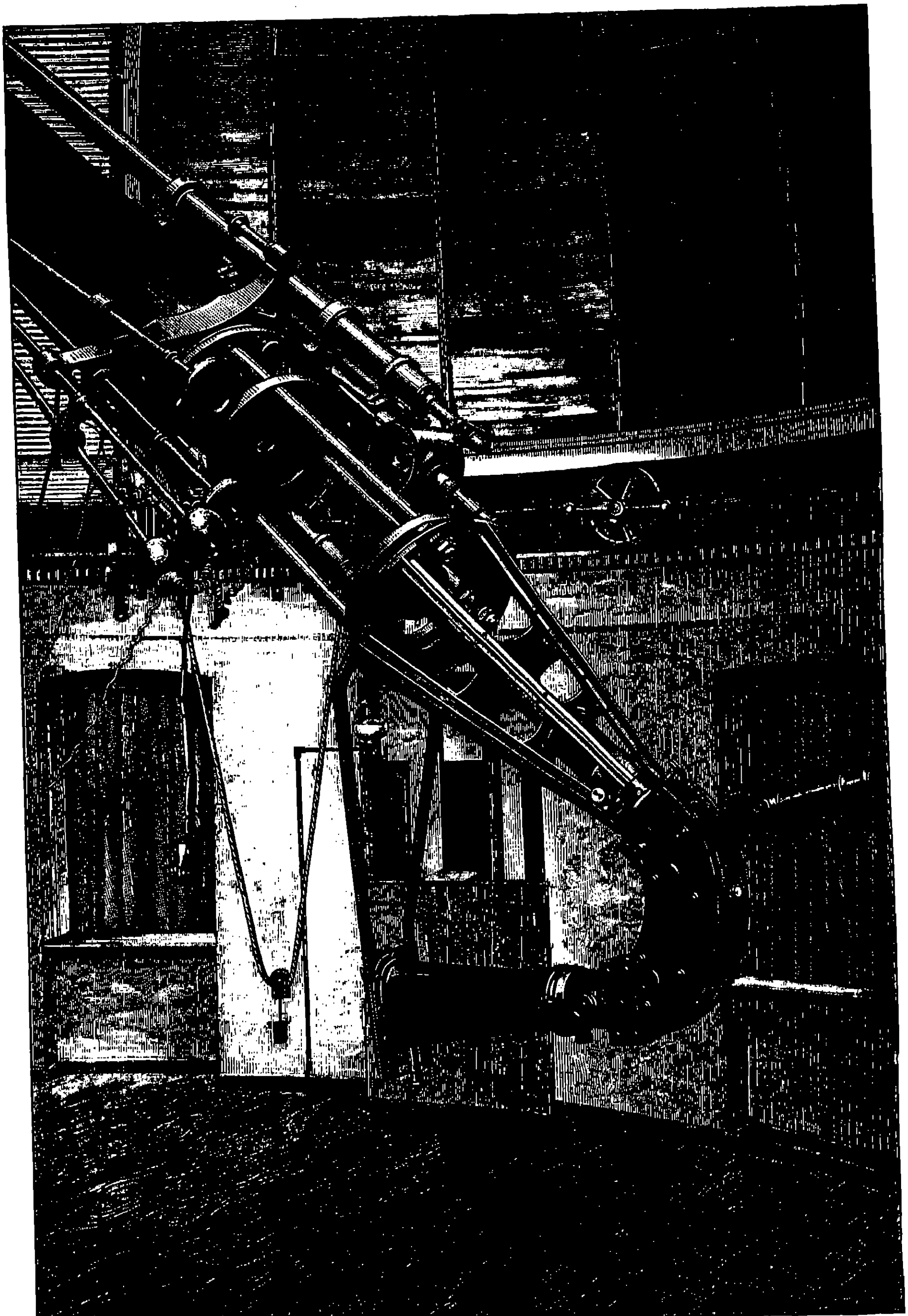


Fig. 730.

(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

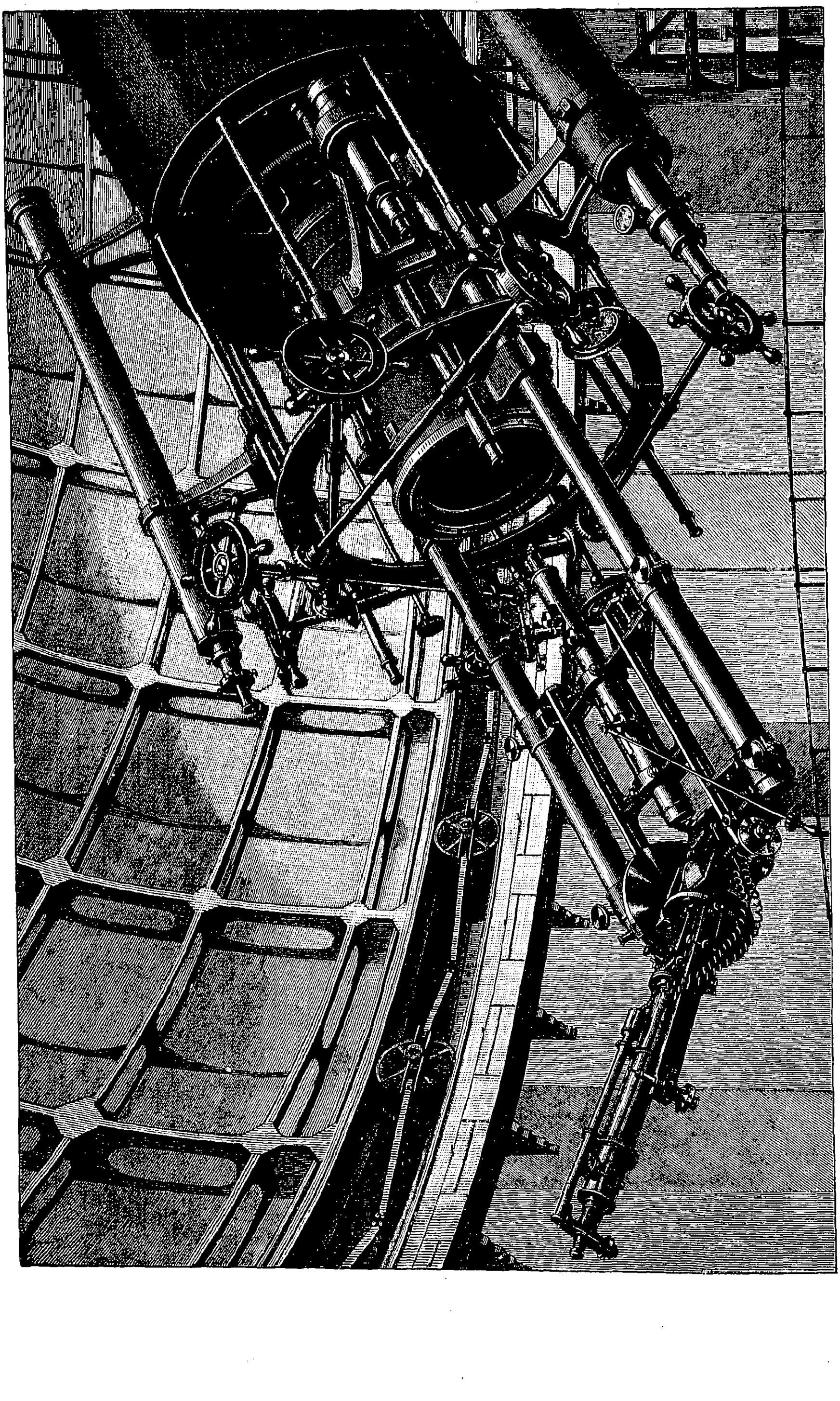


Fig. 731.
(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

Einen dem grossen Potsdamer Spektrometer ähnlichen Apparat zeigt die Fig. 729, welcher nach HUGGINS Angaben von JOHN BROWNING ebenfalls für Potsdam gebaut wurde. Er unterscheidet sich von jenem im Wesentlichen nur durch die Verwendung zweier Prismen und die Art des Mess-

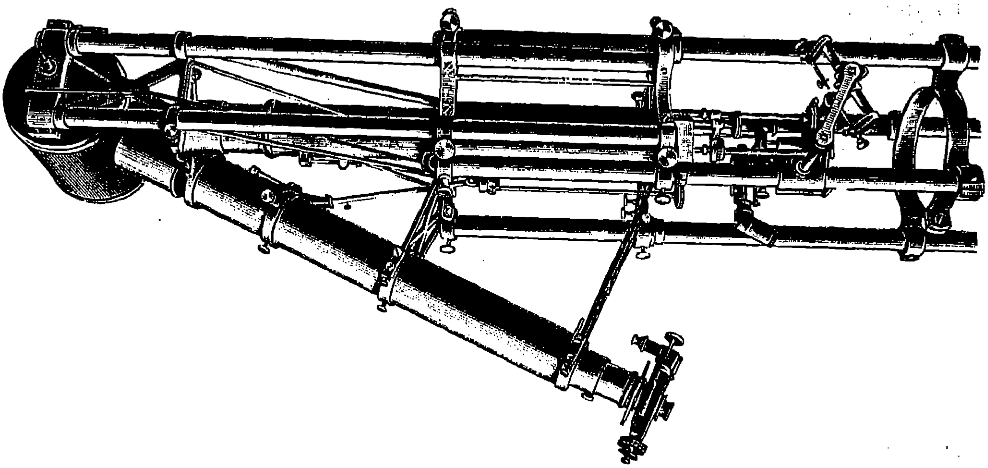


Fig. 732.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1892.)

apparates, zu welchem ein Ghostmikrometer zur Verwendung gelangt. Es können damit auch im Gesichtsfeld selbst noch Differentialmessungen neben denen am Kreise K vorgenommen werden.

Die vielfach abgebildeten Spektralapparate von LOKYER und Anderen hier übergehend, sind in den Fig. 730—732 u. 740[1]) noch einige grosse Spektroskope der Neuzeit zur Anschauung gebracht, ohne hier weiter auf deren Beschreibung im Einzelnen eingehen zu wollen, sondern in dieser Richtung auf die angegebene Originallitteratur verweisend.

ε. „Halfprism-Spektroskope" nach CHRISTIE.

Eine besondere Einrichtung hat CHRISTIE in Greenwich den Spektroskopen gegeben;[2]) er setzt an die Stelle gewöhnlicher Prismen gewissermassen immer nur deren Hälften (danach nennt er das Instrument auch „Halfprism-Spektroskop"), indem er jene in einen durch die brechende Kante normal zur Grundfläche geführten Schnitt zertheilt. Ein solches Prisma wird dann so verwendet, dass die vom Objektiv kommenden Strahlen normal auf die Schnittfläche einer Hälfte auffallen. Sie werden dann an der schrägen Seite nach der Brechung austreten, aber nicht direkt in Luft, sondern ähnlich wie bei einem Rutherford'schen Prisma zunächst in ein Crownglasprisma

[1]) Fig. 730 stellt den grossen Spektrographen des Potsdamer Observatoriums in Verbindung mit dem 13zöll. Refraktor dar. Fig. 731 ist der Spektrograph der Lickseternwarte, Fig. 732 diejenige des Halsted Observatory, Fig. 735 bringt die Anordnung des Spektrographen des Allegheny Observatoriums und Fig. 739 diejenige, welche G. Hale seinem Instrumente gegeben hat, zur Anschauung. Fig. 740 endlich zeigt eine schematische Darstellung des mit dem grossen Newall-Refraktor zu verbindenden Spektroskops.

[2]) Proceedings of the Royal Society 1877, S. 8 ff.

gelangen. Der Strahlengang und die Brechung desselben wird durch die Fig. 733 veranschaulicht. Stellt man nun, wie es Christie thut, drei solche Systeme hinter einander, so bekommt man ein Spektroskop mit „gerader Durchsicht“, welches ein Spektrum von grosser Ausdehnung erzeugt. Diese ist aber nicht allein auf Rechnung der erzielten Dispersion zu setzen, sondern wird auch zum Theil durch Vergrösserung des Spaltbildes direkt hervorgebracht. Die Gesammteinrichtung eines solchen Apparates zeigt Fig. 734, wie er von A. Hilger gebaut wird.

Die drei Halbprismen p_1 p_2 p_3 befinden sich in dem Rohre A, sie sind

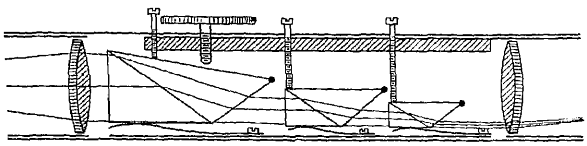


Fig. 733.

um die rechtsgelegenen Eckpunkte drehbar und werden jedes für sich durch eine Feder bei f_1 f_2 f_3 gegen kleine Schrauben s_1 s_2 s_3 gedrückt. Durch diese Schräubchen ist es möglich jedes Prisma für sich zu korrigiren; dieselben haben aber ihr Muttergewinde in einer gemeinschaftlichen Lamelle h, welche auf dem Rohre A befestigt ist und durch das Mikrometerwerk S mess-

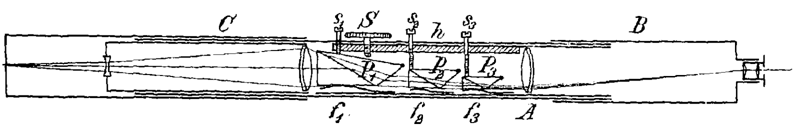


Fig. 734.

bar bewegt werden kann, wodurch alle Prismen zugleich für das Minimum der Ablenkung des gerade beobachteten Spektralgebietes eingestellt werden können.[1]) Neben der schon erwähnten mangelhaften Bildbeschaffenheit ist bei der beschriebenen Konstruktion noch, um die Umkehrbarkeit des Prismensystems zu ermöglichen, der Durchgang des Strahlenbündels durch die Linse A oder durch die Kollimatorlinse ein ganz seitlicher. Dieser Übelstand würde allerdings auf Kosten der Umkehrbarkeit durch eine excentrische Linse wieder gehoben werden können.

Besondere Konstruktion hat man denjenigen Spektroskopen gegeben, welche zur Beobachtung der Umgebung der Sonne, namentlich der Protuberanzen und der Corona dienen sollen. Die wesentlichen Theile sind allerdings die der gewöhnlichen Spektroskope mit grosser Dispersion; im Übrigen aber giebt man diesen Apparaten Einrichtungen, die es möglich machen, durch Drehung des ganzen Apparates den Spalt immer tangential oder auch wohl radial zur Sonnenscheibe zu erhalten, damit stets nur Bilder

[1]) Hierzu ist auch die von C. Braun in den Berichten des Erzbischöflichen Haynald'schen Observatoriums zu Kalocsa (Münster 1886) angegebene Konstruktion eines „Halfprism-Spektroskops“ zu vergleichen.

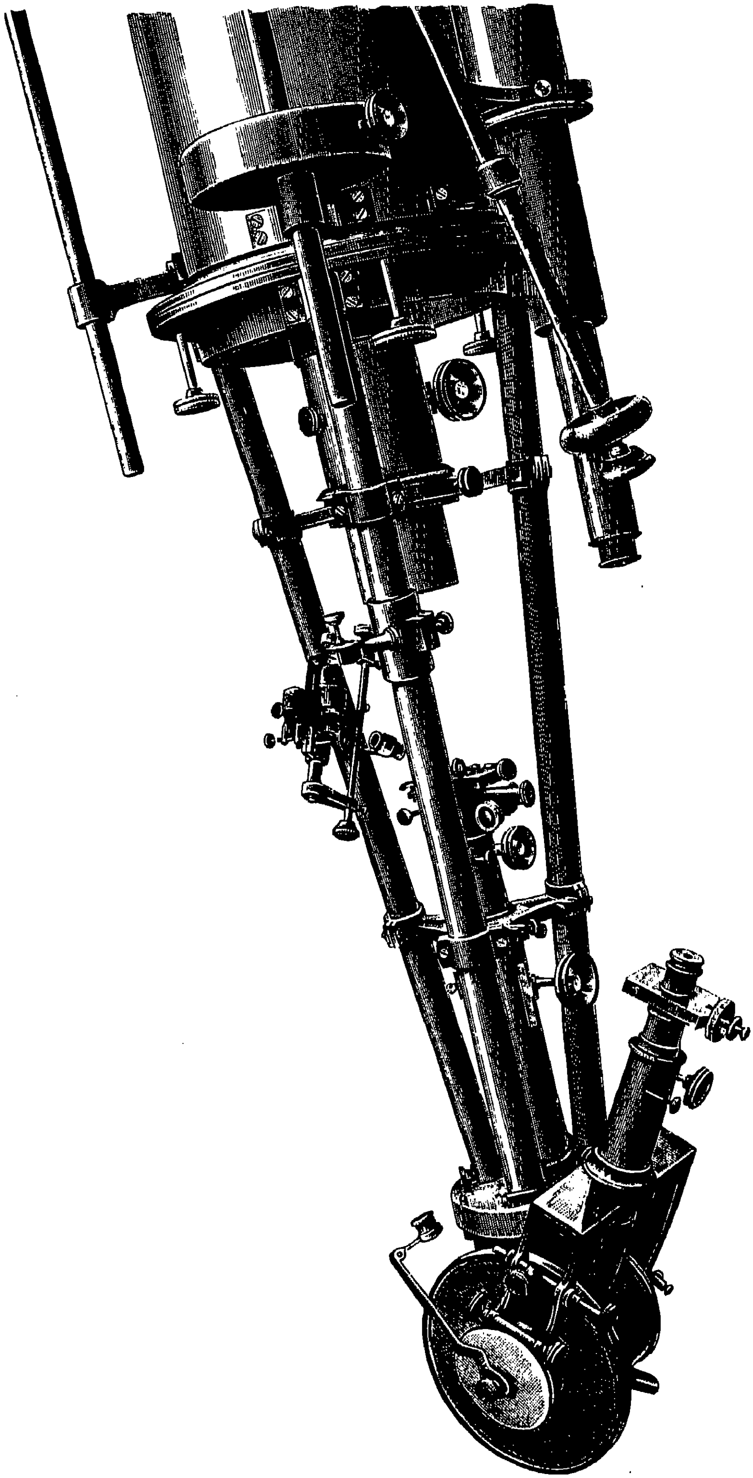


Fig. 785.

(Aus Zschr. f. Instrkde. 1894.)

der bei solchen Beobachtungen in Betracht kommenden Stellen der nächsten Umgebung der Sonne auf den Spalt fallen. Auch bezüglich der weiteren Angaben über diese Instrumente muss ich hier auf die Speciallitteratur ver-

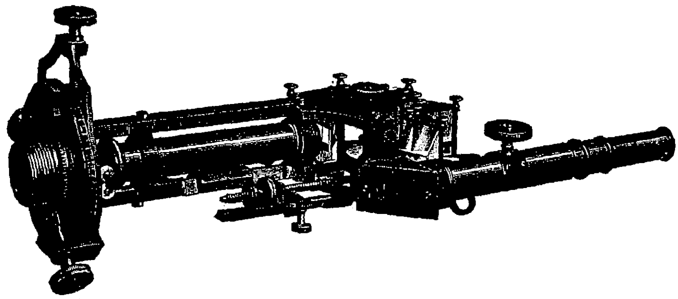


Fig. 736.
(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

weisen. Es seien hier nur ohne weitere Beschreibung die Apparate abgebildet, wie sie Zöllner, Fig. 736, Lokyer, Jansen und später im Wesentlichen Lohse in Potsdam, Fig. 739, und neuerdings namentlich G. Hale vom

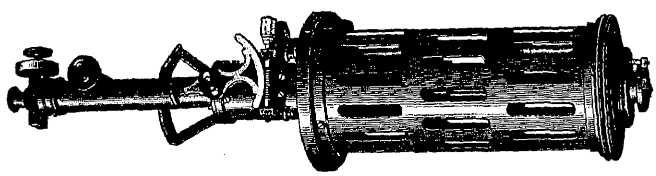


Fig. 737.
(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

Jerkes Observatorium angegeben haben. Bei beiden Instrumenten wird die besondere Drehung in Position durch einen zweiten excentrischen Ring oder ein solches Rohr durch besonderes Triebwerk hervorgebracht.

d. Spektroskope mit Benutzung der Beugungsgitter.

Auf die Benutzung der Beugungsgitter als dispergirende Theile der Spektroskope ist oben schon hingewiesen. Durch die Fortschritte, welche namentlich Rowland und Brashear in der Herstellung der nöthigen Gitter gemacht haben, gewinnen die auf dem Princip der Beugung beruhenden Spektralapparate auch in der Astronomie immer mehr Boden, so lange es sich um Messungen im hellen Sonnenspektrum handelt. Namentlich sind es die von Rowland jetzt hergestellten „Konkavgitter“, welche die Anordnung dieser Spektroskope sehr vereinfachen. Grosse Spektroskope haben häufig Einrichtungen, dass sowohl Prismen als auch Gitter in ihnen verwendet werden können, wie es z. B. beim Spektroskop des grossen Refraktors der Licksternwarte der Fall ist.

Die allgemeine Theorie der Gitterspektroskope in ihren einfachsten Zügen, mit besonderer Rücksicht auf die Konkav-Reflexionsgitter, hat J. Scheiner bei Besprechung einiger neuer Spektrographen, von denen hier die Abbildungen der Wichtigsten gegeben sind, auseinandergesetzt. Ich werde das dort Gesagte

hier im Wesentlichen anführen:[1]) Bezeichnet man mit R und ν die Polarkoordinaten der benutzten Lichtquelle, also des Spaltes, mit ϱ den Krümmungsradius des Reflexionsgitters und mit r und μ die Polarkoordinaten eines Punktes der Fokalkurve desselben, so ist der Radius dieser Kurve

$$r = \frac{R \varrho \cos^2 \mu}{R(\cos \mu + \cos \nu) - \varrho \cos^2 \nu}\ ^{2)}.$$

Für gegebene Werthe vom R und ν ist also auch durch r und μ eine Kurve bestimmt, auf welcher die Vereinigungsweiten für die verschiedenen Spektren liegen müssen, und umgekehrt geht durch R und ν eine Kurve von der Beschaffenheit, dass auf ihr der Spalt stehen muss, wenn die Vereinigungsweiten der verschiedenen Spektren auf der Kurve r, μ liegen sollen. Setzt man nun $R = \varrho \cos \nu$, d. h. stellt man den Spalt auf die Peripherie eines Kreises, dessen Durchmesser der Krümmungsradius des Gitters $r = \varrho \cos \mu$ ist, so fallen beide Kurven zusammen; auf diesem Umstand beruht die vortheilhafte Anwendung der Konkavgitter. Technisch lässt sich dieser Bedingung leicht folgendermassen genügen. Auf zwei senkrecht zu einander stehenden Balken CA u. BA, Fig. 738, wird der Spalt in A befestigt; sowohl Gitter als auch Okular resp. Kassette, wenn es sich um photographische Fixirung des Spektrums handelt, stehen in fester Verbindung miteinander, doch so, dass das Okular nur auf AC und das Gitter nur auf AB gleiten, aber ohne dass sich die Entfernung BC ändern kann. Zur Begründung dieser Bedingung mag folgendes dienen. Es möge sich die Mikrometerschraube des Okulars tangential zum Fokalkreis CABD in D befinden, und es mag die Pointirungsmarke des Mikrometers von D nach D′ um die Strecke a der Tangente entlang verschoben werden, so ist

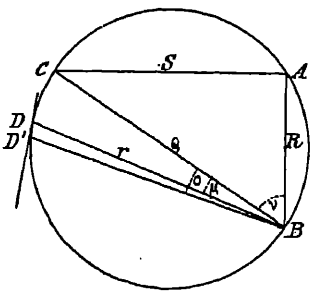


Fig. 738.

$$a = r/_2 \sin 2\,(\mu - o),$$

und
$$d\,a = r \cos 2\,(\mu - o)\,d\,\mu = \varDelta,$$

und es mag $\varDelta$ gleich der Messungseinheit genommen werden. Nach der allgemeinen Theorie der Beugung ist aber, wenn λ die Wellenlänge eines bestimmten Strahles, w die Distanz der Gitterstriche und N die Ordnungszahl des benutzten Spektrums ist:

$$d\,\lambda = \frac{w}{N \cos \mu\ d\,\mu} = \frac{\varDelta\, w \cos \mu}{N \varrho \cos 2\,(\mu - o)}.$$

Für die photographische Aufnahme an Stelle der mikrometrischen wird, wenn die Platte nach dem Radius $\varrho/_2$ gekrümmt ist:

$$\varDelta = \varrho\, d\,\mu;\ d\,\lambda = \frac{w}{N \cos \mu\ d\,\mu} = \frac{\varDelta\, w}{N \varrho} \cdot \cos \mu.$$

[1]) Scheiner, Über neuere Spektroskop-Konstruktionen (Zschr. für Instrkde. 1892, S. 365 ff.).

[2]) Vergl. Rowland, Philos. Mag. 16, S. 197 — Americ. Journ. 26, S. 91 (1883) — Baily, Philos. Mag. 1883 — J. S. Ames, The Concave Gratings in Theory and Praxis. (Philos. Mag. 27 1889).

Setzt man nun aber o gleich Null, d. h. fällt D mit C zusammen, befindet sich also das Okular nebst Mikrometer in C, so geht auch r in ϱ über und cos μ kann ohne Fehler gleich 1 gesetzt werden; dann wird aber auch

$$d\,\lambda = \frac{\varDelta\, w}{N\,\varrho},$$

d. h. man erhält ein *normales* Beugungsspektrum, in dem die linearen Linienabstände den Wellenlängenunterschieden proportional sind. Weiterhin wird dann

$$\lambda = \frac{w}{N \sin \nu} = \frac{w}{N\,\varrho} \cdot AC.$$

Daraus geht hervor, dass man, falls nur die Wellenlänge für eine Linie im Spektrum bekannt ist, man auf der Schiene AC eine Skala anbringen kann, welche die Wellenlängen anderer Linien ohne Weiteres zu bestimmen gestattet.

Gleichzeitig ist diese Skala identisch mit der Skala im Fokus oder auf der photographischen Platte, und die Spektra aller Ordnungen sind gleichzeitig bei C im Fokus und bleiben auch im Fokus, wie auch C dem Balken AC entlang bewegt werden möge. Es ist dies ein grosser Vorzug solcher Apparate vor allen anderen, da ja auch in Folge des Fortfallens von Objektiven die Fokaldifferenzen für die verschiedenen Spektralfarben völlig eliminirt sind.

Eine weitere wesentliche Eigenschaft dieser Apparate ist der Astigmatismus derselben. Wenn nämlich auch die Lichtquelle ein Punkt ist, so erscheint derselbe in der Fokalfläche doch als breites Spektrum ausgezogen. Für Funkenspektra ist also ein Spalt kaum nothwendig; aber auch bei Benutzung eines solchen treten grosse Vorzüge auf, da Staublinien u. s. w. verschwinden und sich überhaupt kleine Unregelmässigkeiten des Spaltes ausgleichen.

Eine ausführliche Wiedergabe der zur Justirung eines solchen Spektroskopes maassgebenden Entwicklungen würde hier zu weit führen. Das Verhältniss der gewählten Längeneinheit zur Wellenlänge beim Mikrometer oder auf der photographischen Platte ist nur von der Distanz des Gitters von dem Mikrometer abhängig; ist also für die völlige Konstanz dieser Länge gesorgt, so sind andere kleine Fehler der Justirung ohne Einfluss auf diese wichtigste Konstante.

Das Instrument, mit welchem Rowland seine Aufnahme des Sonnenspektrums gemacht hat, ist den obigen Bedingungen gemäss wie folgt konstruirt:

Die beiden Balken AB und AC sind 23 engl. Fuss (7 Meter) lang und aus Schwerem Holze gefertigt. AB ist an der Zimmerwand befestigt, AC kann dagegen um den Punkt A ein wenig gedreht werden, wird aber bei C durch schrauben in jeder Lage festgestellt. Auf diesen beiden Balken sind justirbare eiserne Führungen oder Schienen angebracht, auf welchen starke eiserne Wagen laufen, die ihrerseits den 21 Fuss langen eisernen Verbindungsträger zwischen Gitter und Kamera tragen; es kommt also wesentlich auf die Konstanz dieses Trägers an, dessen Länge sehr nahe gleich dem Krümmungsradius des Gitters ist, und an dessen Enden Gitter und Kamera justirbar befestigt sind. Das

Gitter selbst ist auf dem Gitterhalter nur mit Wachs angeklebt; jede Befestigung desselben durch Schrauben u. s. w. ist wegen der resultirenden Durchbiegungen unthunlich. Der Spalt ist drehbar, um eine möglichst genaue

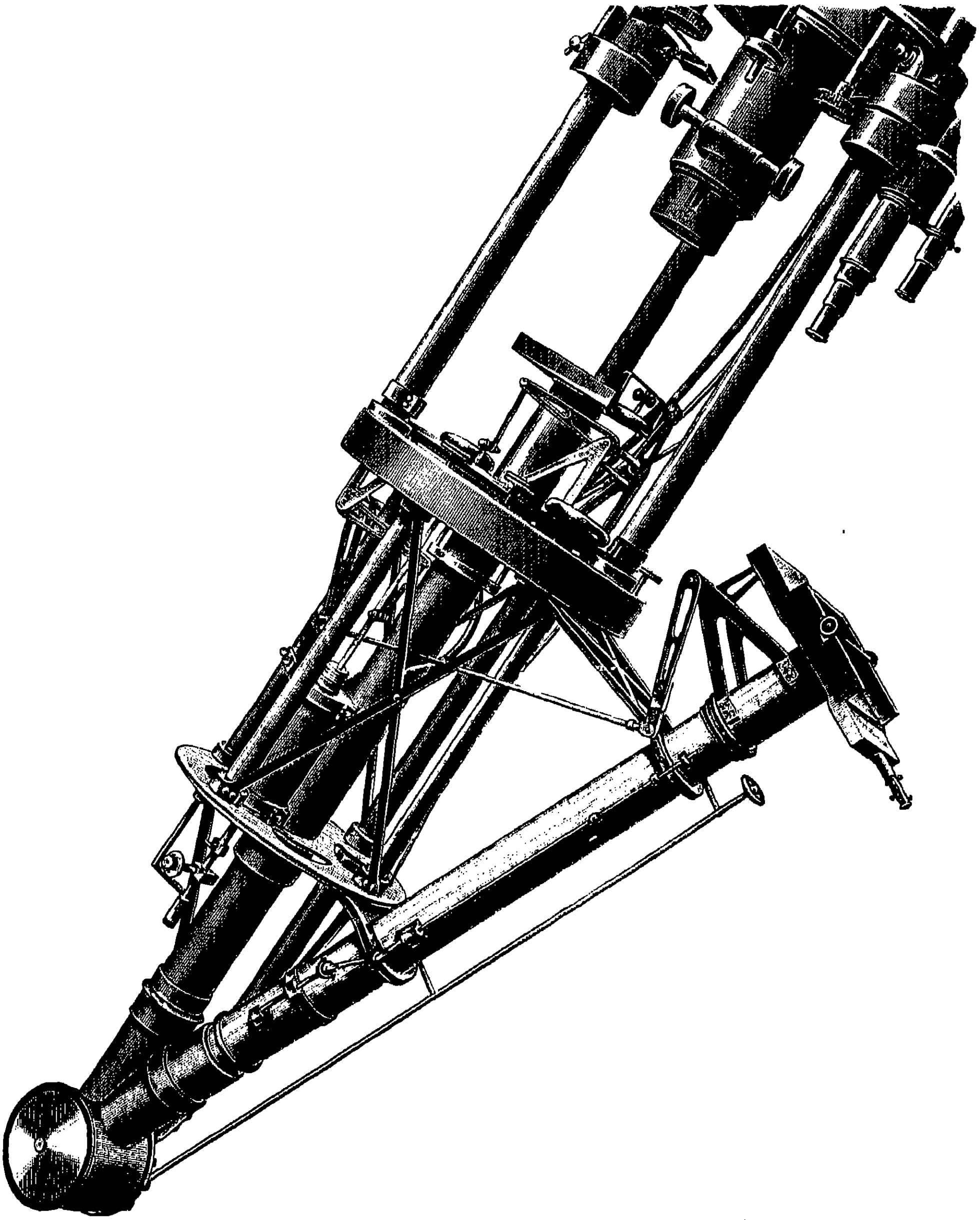


Fig. 789.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1894.)

Parallelstellung desselben zu den Gitterstrichen zu gestatten; ein Fehler in dieser Beziehung von nur 30′ bewirkt bereits eine merkliche Verschlechterung der Spektra.

Die Konkavgitter, welche zu diesem Spektroskope benutzt wurden, be-

sitzen alle einen Krümmungsradius von 21,5 engl. Fuss, die Anzahl ihrer Linien variirt aber von 10,000 bis 20,000 auf den engl. Zoll. Die Angaben, welche hierüber gemacht werden, sind für die Praxis sehr lehrreich. Es ist kaum möglich, ein Gitter herzustellen, dessen Spektra auf beiden Seiten gleich hell sind, es liegt dies an dem unsymmetrischen Querschnitt des durch den Diamanten gezogenen Striches; auch selbst die verschiedenen Theile desselben Spektrums sind manchmal nicht gleich hell, was sehr zu beachten ist, sobald photographische Aufnahmen der nicht sichtbaren Theile des Spektrums gemacht werden. Da ein Gitter von 10,000 Linien auf den Zoll gewöhnlich eine bessere Definition der Spektrallinien giebt, als eines von 20,000 Linien, so ist es besser, ein solches zu benutzen, so lange eben die Dispersion ausreicht. Nur bei den photographischen Aufnahmen des ultravioletten Spektrums ist ein 20,000-Linien-Gitter besser als ein anderes, weil dann weniger übergreifende Spektra benachbarter Ordnungen auftreten.

Die Herstellung der Gitter selbst ist eine überaus schwierige. Es erfordert eine Arbeit von einigen Monaten, um eine vollkommene Schraube für die Theilmaschine

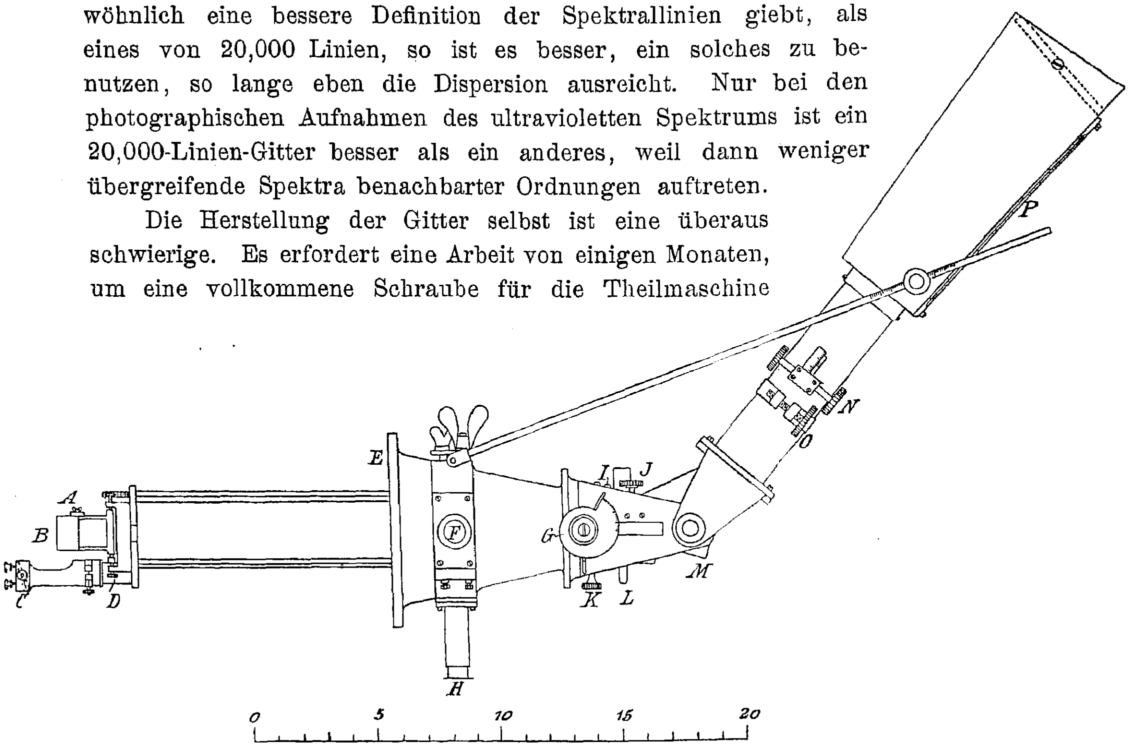


Fig. 740.
(Nach Monthly Notices, Bd. XLIV.)

herzustellen, und es kann leicht ein Jahr vergehen, bis eine passende Diamantspitze gefunden ist. Befindet sich alles in Ordnung, so erfordert die Herstellung eines Gitters von 20,000 Linien auf den Zoll und von 6 Zoll Breite 5 Tage und 5 Nächte unausgesetzte Arbeit.

Es ist schon bemerkt, dass die photographischen Platten entsprechend der Krümmung des Gitters gebogen werden müssen, und dass es deshalb vortheilhaft ist, dieselben möglichst schmal zu nehmen; doch muss man hierbei die durch den Astigmatismus des Konkavgitters hervorgerufene natürliche Verbreiterung der Spektra beachten; dieselbe variirt für die angegebenen Dimensionen des Apparates von $^1/_4$ bis 4 Zoll.

Einen Begriff von dem Millimeterwerth einer Angström'schen Einheit der Wellenlängen, alles für den Radius von 21,5 Fuss berechnet, giebt das folgende Täfelchen:

Gitter	Spektrum:			
	1. Ord.	2. Ord.	3. Ord.	4. Ord.
10 000 Linien	0,26	0,51	0,77	1,03
20 000 "	0,52	1,03	1,55	2,07

Für andere Krümmungsradien verhalten sich diese Werthe wie die Radien selbst.

e. Das Reversionsspektroskop nach Zöllner.

Als ein Spektroskop besonderer Konstruktion mag zum Schluss noch das von Zöllner angegebene, sogenannte Reversionsspektroskop erwähnt werden; mit einem solchen Apparate ist es bekanntlich H. C. Vogel gelungen, die Sonnenrotation auf Grund der Verschiebung der Spektrallinien in dem von den beiden Sonnenrändern ausgehenden und mit einander verglichenen Lichte nachzuweisen. Die Einrichtung dieses Apparates ist die folgende[1]) und zwar für den Fall, dass die Reversion schon vor dem Objektive vorgenommen wird.[2]) In Fig. 741 ist A das Fernrohr, welches bei B die durch die Schraube C senkrecht zu ihrer Schnittfläche beweglichen Objektivhälften enthält. Jedes der beiden Lichtbündel, welche die Objektivhälften passiren, wird dann zur Herstellung eines besonderen Spektrums verwendet. Beide Spektren können durch die Bewegung der Objektivhälften in ihrer gegenseitigen Stellung korrigirt werden. In dem Behälter E ist ein Reflexionsprisma angebracht, welches vor der einen Objektivhälfte durch die Schraube F beweglich ist. Die Schraube G gestattet das ganze Fernrohr um die Axe K zu bewegen und bewirkt hierdurch die relative Bewegung der beiden Spektren in Richtung der Dispersion. Die Grösse dieser Winkelbewegung kann an dem getheilten Gradbogen H mittelst der Lupe L abgelesen werden. Bei J kann dieser Apparat hinter dem Prismensatz eines Spektroskops befestigt werden und diese Ringverbindung dient dann dazu, die Kante des Reflexionsprismas parallel den brechenden Kanten des Prismensatzes und dem Spalte stellen zu können. Der Anblick der neben einander liegenden Spektren wird dann der in Fig. 742 skizzirte sein. In der Figur stellen a und b, resp. a′ und b′ die beiben Natriumlinien dar und x und u zwei dazwischen liegende Linien. Die

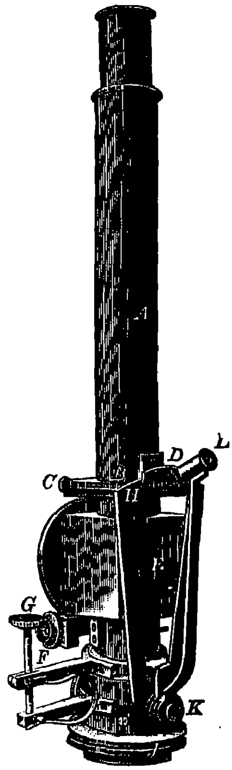


Fig. 741.

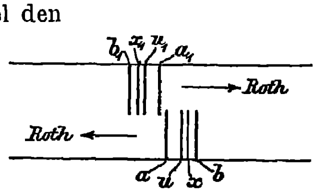


Fig. 742.

[1]) Carl, Repertorium, Bd. VIII, S. 330.

[2]) Bei einer anderen Konstruktion findet die Theilung des Spektrums erst am Okulare statt.

Messung der Abstände zweier Linien resp. deren Verschiebung geschieht dann in ähnlicher Weise wie bei einem Heliometer.

3. Spektrographen.

Die Einführung der Photographie zur Fixirung der Spektren der Gestirne hat namentlich für das Studium der Beschaffenheit der schwächeren Gestirne grosse Vortheile geschaffen, während die photographischen Aufnahmen des Sonnenspektrums wohl nur durch eine treue Wiedergabe der Linienbeschaffenheit die visuelle Beobachtung übertreffen.

Da bei der photographischen Aufnahme der Spektren schwacher Gestirne nicht nur die Intensität des Lichtes das wirkende Moment ist, sondern dazu noch die Dauer der Exposition kommt, so ist die Überlegenheit der photographischen Platte dem mindestens ebenso empfindlichen Auge gegenüber verständlich. Dazu kommt allerdings noch der Unterschied zwischen Auge und photographischer Platte bezüglich des sich über das Violett hinaus erstreckenden Theiles des Spektrums und der der Photographie günstige Umstand, dass Luftunruhe und Helligkeitsschwankungen des Sternbildes, wie sie das Scintilliren der Gestirne im Gefolge hat, weit weniger störend wirken

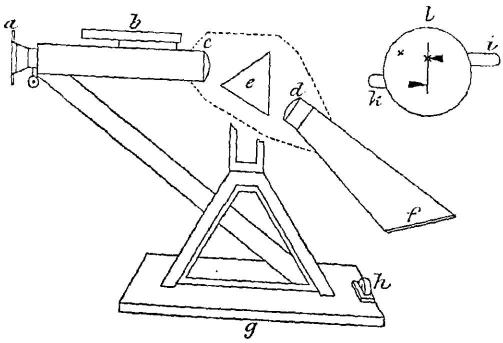


Fig. 743.

als bei der visuellen Beobachtung eines Sternspektrums, während wiederum die Beschaffenheit des Silberkornes der Platte der Wahrnehmung feinerer Details häufig hinderlich ist.

Die ersten photographischen Sternspektren sind von HUGGINS im Jahre 1864 aufgenommen worden, aber erst 15 Jahre später war die Methode von ihm so weit ausgebildet, dass wirklich brauchbare Aufnahmen erhalten wurden.[1]) Er benutzte dazu ein Spiegelteleskop von 18 Zoll Öffnung; in dasselbe setzte er den in Fig. 743 dargestellten Apparat ein.

Das Kalkspathprisma e von 60^0 brechendem Winkel befindet sich im Minimum der Ablenkung für die H-Linie. Kollimator- und Kamera-Linsen, c und d, sind aus Quarz; die Wahl dieser Medien ist bedingt durch die bessere Durchsichtigkeit für die ultravioletten Strahlen. Das Rohr b am Kollimatorrohre, parallel zu letzterem, dient in Verbindung mit dem Okulare

[1]) Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne, S. 107.

des Teleskopes zur Justirung des ganzen Apparates. Die Bewegung desselben erfolgt durch eine Schraube bei h.

Auf der Spaltplatte befinden sich zwei Klappen, welche vermittelst der Knöpfe i und k regiert werden können, so dass die eine Hälfte des Spaltes beliebig geöffnet oder verschlossen werden kann, um neben dem Spektrum des Gestirnes dasjenige einer anderen Lichtquelle aufzunehmen. Die photographische Platte befindet sich in f. Die Form des Apparates muss naturgemäss eine möglichst kompendiöse sein, da derselbe in das Rohr des Spiegelteleskopes eingesetzt ist und entsprechend seinem Querschnitte Licht absorbirt. Aus Fig. 744 ist die Anordnung des Spektrographen im Rohre ersichtlich. Hier ist auch die Vorrichtung zu erkennen, welche gestattet, den Stern auf dem Spalte festzuhalten. In der Mitte des durchbohrten Teleskopspiegels ist anstatt des Okulars ein Galileisches Fernrohr eingesetzt, durch welches man den Spalt des Spektrographen beobachten kann.

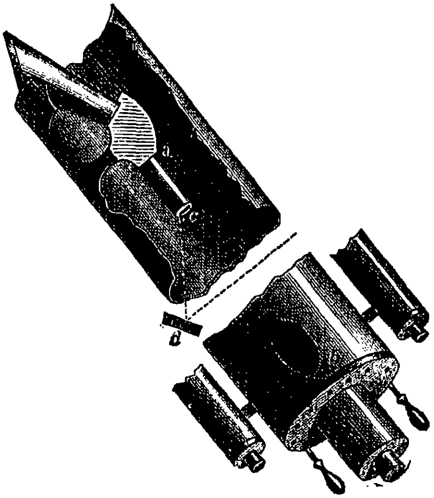


Fig. 744.
(Aus Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

Durch das seitlich angebrachte kleine Spiegelchen d wird die Spaltplatte durch inaktinisches (Natrium-) Licht beleuchtet, und man erkennt nun im Fernrohre, ob das Bild des Sterns sich auf dem Spalte befindet oder nicht. Neuere Einrichtungen, z. B. der grosse Potsdamer Spektrograph, sind in den Fig. 730—732 mit abgebildet. Die Details dieses Spektrographen zeigt die Fig. 745 und nachstehend mag die Beschreibung derselben nach den Publ. des Potsdamer Observatoriums noch gegeben werden.

„Auf einem Ringe A von Stahlblech von 25 cm äusserem und 12 cm innerem Durchmesser sind sechs Streben von Gussstahl mit T-förmigem Querschnitt aufgenietet, welche konisch zulaufen und mit einem starken Ringe B aus Rothguss fest verbunden sind. Die Entfernung von A nach B beträgt 40 cm. Zwei in der Mitte durchbohrte Teller aus Stahlblech sind dazwischen an dem umgebogenen Rande mit den Streben vernietet; in ihnen sind cylindrische Hülsen (Lager) eingeschraubt, in welchen sich das Kollimatorrohr (Messing) in der Richtung der Längsaxe mittelst Trieb- und Zahnstange verschieben lässt, und welche sehr wesentlich zur Versteifung des Ganzen beitragen. Die Stellung des Kollimators kann an geeigneter Skala bis auf 0,1 mm genau abgelesen werden. Über das Objektivende des Kollimators ist ein zum Lichtabschluss dienendes Rohrstück b aufgesteckt, welches sich soweit zurückschieben lässt, dass man zum Kollimatorobjektiv gelangen kann, um dasselbe zu reinigen, oder um vor demselben eine Centrirvorrichtung anzubringen. Mit dem Ringe B ist das aus Stahlblech gearbeitete Prismengehäuse C verbunden; es ist mit dünnen gebogenen Messingblechplatten c und c′ licht-

dicht abgeschlossen. Am anderen Ende des Prismengehäuses, fest mit demselben verbunden, befindet sich ein Messingcylinder, in welchem sich das Kameraobjektiv ebenfalls durch Trieb- und Zahnstange um einen Centimeter hin und her bewegen lässt; diese Bewegung kann an einer Trommel abgelesen werden und gestattet eine sehr genaue Einstellung des Objektivs. Am Ende dieses Messingcylinders befindet sich ein Flansch; die mit einem gleichgrossen Flansch versehene Kamera D ist mit dem Cylinder durch drei Druck- und Zugschrauben, welche durch die Flansche gehen, verbunden, und hierdurch wird eine Centrirung der Kamera gegen die optische Axe des Objektivs ermöglicht. Die aus dünnem Stahlblech gefertigte Kamera ist konisch mit elliptischem Querschnitt. Um diesem Theile die nöthige Stabilität

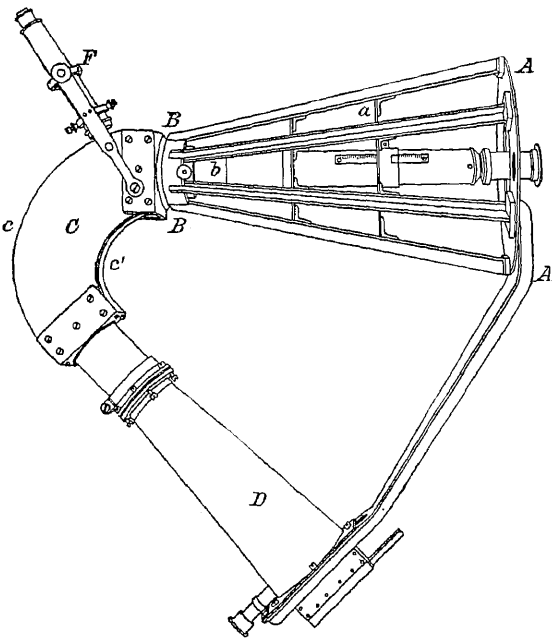


Fig. 745.
(Aus den Publ. d. astrophysikal. Observ. zu Potsdam, Bd. VII.)

zu geben, sind am anderen Ende der Kamera, welche durch eine Platte verschlossen ist, die einen Rahmen zur Aufnahme der Kassetten trägt, zwei Träger von Gussstahl mit T-förmigem Querschnitt befestigt, welche wiederum mit der erstgenannten Stahlblechplatte A nach erfolgter Justirung der Kamera fest verbunden worden sind. Der ganze Apparat bildet so ein in sich geschlossenes Ganze, und seine Stabilität ist eine ausserordentlich grosse; es ist an keinem Theile eine grössere Veränderung möglich. Die Prismen wurden, nachdem sie auf das Minimum der Ablenkung für die H γ-Linie gestellt waren, durch mehrere Schrauben in dem Gehäuse C befestigt; die Kamera ist so justirt, dass in der Mitte der photographischen Platte die H γ-Linie sich abbildet; nur Kollimatorrohr und Kameraobjektiv lassen sich bewegen."

Da man die photographischen Spektren jetzt nur selten durch Zwischenschaltung einer Cylinderlinse verbreitert, hat J. Scheiner einen Apparat angegeben, mittelst dessen man nachträglich die nöthigen Verbreiterungen der Spektralbilder vornehmen kann. Denselben zeigt Fig. 746, wie ihn Töpfer in Potsdam gebaut hat.[1]) Die Einrichtung des Apparates ist die folgende:

„Vor der Vergrösserungslinse wird das Originalnegativ auf einem verstellbaren Spalte in der Weise befestigt, dass die beiden Spaltbacken genau mit der seitlichen Begrenzung des Spektrums abschliessen, wodurch jegliches Seitenlicht abgehalten ist. Die Weite des Spaltes richtet sich natürlich nach der Breite des betreffenden Spektrums.

Die Kassette ist in einem beweglichen Rahmen A befestigt, welcher geführt von vier fein gearbeiteter Rollen r und r_1, von denen die r_1 federnd anliegen, auf zwei am Kasten des Vergrösserungsapparates befindlichen Schienen SS auf und ab bewegt werden kann. Die Bewegungsrichtung steht normal

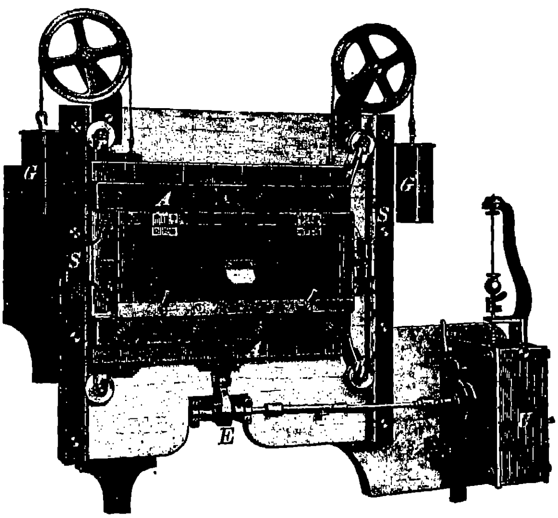


Fig. 746.
(Nach Scheiner, Spektralanalyse d. Gestirne.)

zur Richtung des Spaltes oder zur Längsausdehnung des Spektrums. Dieser durch Gegengewichte G nahe ausbalancirte Rahmen nebst Kassette ruht mit leisem Drucke auf einem Excenter E, dem eine derartige Form gegeben ist, dass bei gleichmässiger Drehung ein Auf- und Niedergehen der Kassette mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgt. Die Kurve des Excenters ist durch die Gleichung bestimmt: $r = \varrho + a\,\varphi$,
wo φ von 0 bis 180^0 zu nehmen ist; sie setzt sich also aus zwei symmetrisch gegeneinander gerichteten Theilen einer Spirale zusammen. Das Excenter selbst wird durch ein Uhrwerk U getrieben, dessen gleichmässiger Gang auch bei wechselnder Belastung durch ein Federpendel, ähnlich dem von Repsold vielfach angewendeten, garantirt ist. Das Uhrwerk ist so regulirt, dass ein Auf- und Niedergang der Kassette in ungefähr einer halben Minute erfolgt.

[1]) Zschr. f. Instrkde. 1891, S. 230.

Da die Umkehrpunkte praktisch nicht genau funktionirend hergestellt werden können, wodurch eine ungleichmässige Helligkeit des Spektrums an diesen Stellen entstehen würde, so befindet sich im Innern des Apparates vor der Kassette ein Spalt, der mit auf und abgeführt wird, und der, von etwas geringerer Breite als die ganze Bewegung, zu den Zeiten der Umkehr das Spektrum abblendet.

Die Linearvergrösserung des Apparates ist eine fünffache, die Breite der Spektra ist zu 15 mm gewählt, so dass also eine Breitenvergrösserung bis zu 150 erreicht ist. Es ist klar, dass dieselbe durch Anwendung eines Excenters von grösserem Durchmesser beliebig gesteigert werden kann. Die Expositionszeit ist entsprechend dem Verhältniss von Breiten- zu Längenvergrösserung gegenüber der Expositionszeit bei stillstehender Platte zu vermehren; sie beträgt bei der vorliegenden Einrichtung von Apparat und Lichtquelle etwa 10 Minuten bei Anwendung sehr empfindlicher Platten."

Obgleich neben den vorstehend abgebildeten und erläuterten spektroskopischen Instrumenten auch noch die Spektrophotometer und die Langley'sche Einrichtung zur Untersuchung des ultra-rothen Theiles des Spektrums und einigen anderen speciellen Zwecken dienende Apparate zu erwähnen wären, so muss doch hier aus den schon mehrfach namhaft gemachten Gründen darauf verzichtet werden.

VI.

Die ganzen Instrumente.

Fünfzehntes Kapitel.

Reflexionsinstrumente.

Die in den vorstehenden Kapiteln beschriebenen einzelnen Theile astronomischer Instrumente finden sich nun in dieser oder jener Anordnung vereinigt, um die Richtungen nach den Gestirnen gegen die in der Einleitung erwähnten festen Ebenen zu bestimmten Zeiten fest zu legen. Diese Instrumente kann man unterscheiden nach ihrer Handhabung sowohl, als nach ihrer Aufstellungsweise und nach dem Zwecke, welchem sie dienen sollen. Eine dieser verschiedenen Arten bilden die Reflexionsinstrumente. Die Reflexion selbst kann mit Hülfe von Spiegeln oder Prismen hervorgebracht werden und zwar immer so, dass die von beiden Objekten kommenden Strahlenbüschel in ihren letzten Wegstrecken parallel in das Auge gelangen und dort die beiden Bilder gleichzeitig erzeugen. Die vollständige Koincidenz dieser beiden Bilder zeigt dann an, dass die übrigen Theile des Instrumentes diejenige Stellung inne haben, welche die Messung bedingt. Diese Messung geschieht mit Hülfe eines Kreisbogens (Sextanten, Oktanten) oder eines ganzen Kreises (Spiegelkreise und Prismenkreise). Der Hauptvortheil der Reflexionsinstrumente im Allgemeinen beruht darauf, dass es nicht nöthig ist, denselben eine feste Aufstellung zu geben, ja, dass dieselben bequem in freier Hand und sogar auf Deck des schwankenden Schiffes gebraucht werden können. In manchen Fällen werden dieselben allerdings auch an Stativen befestigt, doch geschieht dies nur zur Bequemlichkeit des Beobachters, ist aber keineswegs Bedingung für die Ausführung der Messung. Danach ist es auch möglich, mit einem Reflexionsinstrument jeden Winkel direkt zu messen (soweit es die sonstigen Verhältnisse gestatten), wie auch die Lage seiner Ebene im Raume sein mag, was z. B. bei der Messung von Monddistanzen von grosser Wichtigkeit ist. Dagegen erfordern aber die mit einem Reflexionsinstrumente gemessenen Winkel, sobald sie auf irgend welche Fundamentalebenen bezogen werden sollen, meist noch weitere Reduktionen (z. B. Reduktion auf den Horizont). Eine ganz besonders häufige Anwendung finden die Reflexionsinstrumente zur Bestimmung der Höhen von Gestirnen über dem Horizont, da die Messung sodann der Natur der Sache nach in einem Vertikalkreise ausgeführt wird und ohne weitere Reduktion (abgesehen von Instrumentalfehlern, Refraktionu. s. w.) benutzt werden kann.

1. Sextant und Oktant.

Der Spiegelsextant und der Oktant, so bezeichnet, je nachdem der Limbus etwa den 6. oder 8. Theil der Peripherie umfasst, ist das älteste Reflexions-

instrument und verdankt seine Erfindung dem Engländer JOHN HADLEY. M. J. G. F. BOHNENBERGER, welcher in seiner „Anleitung zur Geographischen Ortsbestimmung vorzüglich vermittelst des Spiegelsextanten, Göttingen 1795", diese Instrumente eingehend behandelt, schreibt dort als geschichtlichen Vermerk, auf den wir uns hier beschränken wollen:[1])

„HADLEY legte die erste Beschreibung von seinem Oktanten im Mai 1731 der königlichen Societät in London vor,[2]) deren Vicepräsident er war, und erklärte die Grundsätze, nach welchen er gebaut ist. Sein erster Oktant war von Holz. Er liess nachher einen zweiten von Messing machen, mit welchem Versuche zur See angestellt wurden, welche die Brauchbarkeit dieses Instrumentes an den Tag legten. Demungeachtet verflossen wenigstens zwanzig Jahre, bis dieses vortreffliche Werkzeug in Gebrauch kam. Einige Jahre

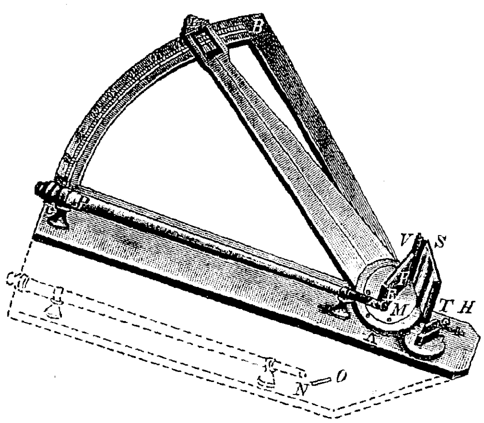


Fig. 747a.

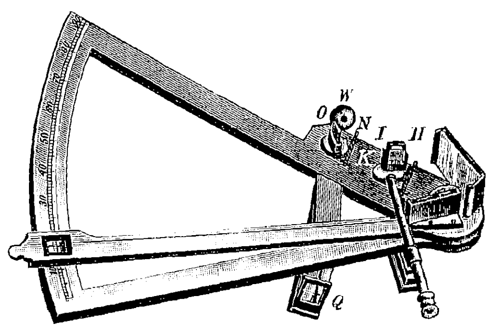


Fig. 747b.

nachher, nämlich im Jahre 1742, wurde unter den hinterlassenen Papieren HADLEY's eine Handschrift NEWTON's gefunden, welche eine Zeichnung und Beschreibung eines Instruments enthielt, das nicht sehr von dem ersten Instrument HADLEY's verschieden war. Seine vorzüglichsten Eigenschaften und sein Gebrauch zur See waren ebenfalls angezeigt. ‚Daher', sagt LUDLAM,[3]) ‚scheint es, dass in der That NEWTON der erste Erfinder von diesem Reflexionsquadranten war, ob es gleich vor 1742 niemandem, als vielleicht dem Dr. HADLEY

[1]) Im Übrigen auch zu vergleichen: Dr. A. Breussing, Die nautischen Instrumente bis zur Erfindung des Spiegelsextanten, Bremen 1890.

[2]) Philos. Transact. 1731, S. 147 und Philos. Transact. 1732, S. 341. Die dort von Hadley zuerst beschriebenen und abgebildeten Instrumente stellen die Figuren 747a u. b in getreuer Nachbildung dar; wobei zu bemerken ist, dass die durch punktirte Linien angedeutete Lage des Fernrohrs in der ersten Figur dazu bestimmt sein sollte, auch Winkel in der Nähe von 180° messen zu können, indem dann der kleine Spiegel in N O anzubringen wäre. E F grosser Spiegel, G resp. K H kleiner Spiegel, S T Blendglas um den Zapfen V drehbar. W Q in Fig. 747b Diopter, welches an die Stelle des Fernrohrs treten sollte, um mit Hülfe des Spiegels O N auch in der Richtung W Q visiren zu können.

[3]) Directions for the use of Hadley's Quadrant. London 1790.

bekannt war, welcher noch nichts davon gewusst zu haben scheint, als er seinen Oktanten der königlichen Societät bekannt machte. HADLEY's grosse Geschicklichkeit und besondere Fertigkeit in der Optik lassen keinen Zweifel stattfinden, dass er gleichfalls der erste Erfinder war, und demzufolge hat dieses Instrument immer seinen Namen getragen.'"

In der Folge lernte man immer mehr die Vorzüge kennen, welche der Hadley'sche Sextant vor anderen zur Anstellung astronomischer Beobachtungen auf der See bestimmten Instrumenten hatte. RAMSDEN, welchem man die grosse Vollkommenheit dieser Werkzeuge, mit welcher sie jetzt verfertigt werden, meistens zu verdanken hat, fand bei genauerer Untersuchung, dass die ersten Instrumente in ihren wesentlichen Theilen nicht solid genug waren; die Alhidade war einer zu starken Reibung unterworfen, so dass man öfter das Ende derselben um einige Minuten fortbewegen konnte, ohne dass der an dem Umdrehungspunkt angebrachte Spiegel seine Lage änderte, auch waren die Eintheilungen nicht fein genug. Hieraus schloss RAMSDEN, dass La-Caille Recht hatte, wenn er den Fehler, den man bei Messung der Abstände des Mondes von der Sonne und von Fixsternen begehen könne, auf 5 Minuten setzte. Er brachte im Jahre 1763 eine Maschine zu Stand, vermittelst welcher er dergleichen Instrumente in kurzer Zeit und mit einer grossen Genauigkeit eintheilen konnte. Dieser Maschine bediente er sich bis gegen das Jahr 1773, zu welcher Zeit seine noch vollkommenere Theilmaschine fertig wurde, vermittelst welcher alle englischen Künstler ihre Sextanten eintheilen liessen.[1])

RAMSDEN bekam von „der Kommission wegen der Länge" eine Belohnung von 300 Pf. Sterling, und 315 Pf. Sterling für seine Maschine, nachdem er sich anheischig gemacht hatte, jeden Sextanten für 3 Schillinge einzutheilen. Für die Eintheilung eines Sextanten mit einem Vernier der 30 Sec. angiebt, bekam er 6 Schillinge.

Man suchte nun den Sextanten auch zu Beobachtungen auf dem festen Lande einzurichten. Der Seefahrer findet seinen Horizont in der weiten See, am Lande muss man sich einen durch Kunst zu verschaffen wissen. Dieser Umstand verursachte es, dass zu Beobachtungen auf dem Lande diese Spiegelinstrumente nicht die gebührende Anerkennung fanden, obgleich man ihnen mehrfach Einrichtungen zu geben versuchte, die sie von der Benutzung eines Horizontes unabhängig machten. Erst durch ZACH und den Grafen BRÜHL wurde der Hadley'sche Spiegelsextant auch auf dem Festlande zu verdienten Ehren gebracht.

Das geometrisch-optische Princip, auf welchem die Wirkungsweise der genannten Spiegelinstrumente beruht, ist das folgende: In der schematischen Zeichnung, Fig. 748, sind S und s zwei Spiegel, von denen S (grosser Spiegel) im Centrum des Kreissektors SOB um eine zu diesem senkrechte Axe beweglich angebracht und mit seiner spiegelnden Seite nach links gerichtet ist; mit ihm fest verbunden und zugleich mit ihm beweglich ist die Linie (Alhidade) SS'. Der Spiegel s (kleiner Spiegel) hingegen ist auf der Sextantenebene befestigt

[1]) Dazu ist das auf S. 426 Gesagte zu vergleichen.

und kann zu dieser senkrecht gestellt werden. Die obere Hälfte dieses Spiegels ist unbelegt, während die untere nach rechts hin als Spiegel wirkt.

Befindet sich z. B. in L ein Objekt, so wird man dasselbe in einem auf der Sextantenebene befestigten Fernrohr, dessen optische Axe nach L gerichtet ist, durch die unbelegte Hälfte des kleinen Spiegels s hindurch sehen und in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen können. An der unteren, spiegelnden Fläche von s wird die Richtung der Gesichtslinie aber eine Reflexion erfahren, wodurch $\beta = \beta'$ wird. Die Stellung des kleinen Spiegels s ist nun so gewählt, dass die Richtung s S nahezu nach der Mitte des grossen Spiegels trifft. Die dort eintretende Reflexion wird mit $\gamma' = \gamma$ der Gesichtslinie die Richtung S R ertheilen. Das Auge des Beobachters am Fernrohr wird für die angezeigte Stellung des grossen Spiegels S einen Gegenstand in R gleichzeitig mit einem solchen in L im Gesichtsfeld des Fernrohrs sehen. Es wird also auf alle Fälle die Drehung des grossen Spiegels mit der Alhidade S S′ ein Maass für denjenigen Winkel sein, welchen die beiden Richtungen L F und R F′ am Beobachtungsorte mit einander einschliessen. Vermöge der einfachen Beziehung zwischen Ein- und Ausfallwinkel der an Ebenen reflektirten Strahlen wird aber sofort einzusehen sein, dass der Winkel S S′ s, welchen die beiden Spiegel für den angegebenen Fall mit einander bilden, gleich sein muss der Hälfte des zu messenden Winkels $RF'L = \alpha$; denn es ist:

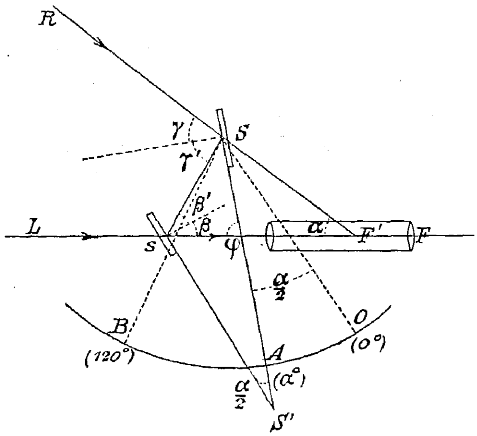


Fig. 748.

aus Dreieck F′ s S: $\alpha + 2\beta + (180 - 2\gamma) = 180^0$,

aus Dreieck S′ s S: $\sphericalangle sS'S + (90 + \beta') + (90 - \gamma') = 180^0$,

also $\alpha = 2\gamma - 2\beta$

und $\sphericalangle sS'S = \gamma - \beta$

$$\sphericalangle sS'S = \frac{\alpha}{2},$$ was behauptet wurde.

Ist man also in der Lage, die Grösse des Winkels $\frac{\alpha}{2}$ zu messen, so kennt man auch α. Diese Messung geschieht dadurch, dass man auf dem Kreisstück OB eine Theilung aufträgt, welche ihren Nullpunkt da hat, wohin S S′ zu liegen kommt, wenn die beiden Spiegel parallel stehen; denn dann wird $sS' \parallel SO$ sein und somit $\sphericalangle sS'S = \sphericalangle S'SO$, dessen Betrag man sofort auf der Theilung ablesen kann.

a. Die einzelnen Theile der Sextanten.

Diesen Betrachtungen entsprechend sind die Sextanten und Oktanten, sowie auch die weiterhin noch zu besprechenden anderen Reflexionsinstrumente, ausnahmslos konstruirt, nur in der technischen Ausführung unter-

scheiden sich die aus den einzelnen Werkstätten im Laufe der Zeit hervorgegangenen Instrumente. Fig. 749 stellt einen Sextanten gewöhnlicher Konstruktion vor, bei welchem der Gang der Visirrichtungen obigem Schema gemäss angegeben ist. Der grosse Spiegel S ist jetzt gewöhnlich in einer kastenartigen Fassung befestigt und wird nur durch drei kleine mit je einem Punkt auf den Spiegel drückende Ansätze auf der Vorderseite gehalten, während auf der Rückseite eine Platte gegen ihn anliegt, welche ebenfalls drei genau entsprechende Schraubenspitzen besitzt und die durch eine in der Mitte der Hinterwand befindliche Schraube r_0 gegen den Spiegel gedrückt wird. Dadurch wird eine Durchbiegung unmöglich gemacht, denn durch eine solche würden sofort die Bilder der beobachteten Objekte undeutlich werden. Vermittelst des erwähnten Kastens ist der Spiegel so auf die Alhidade A aufgesetzt, dass seine spiegelnde Fläche nahe über das Centrum der Theilung des Limbus zu stehen kommt. Diese Fassung ist jetzt meist

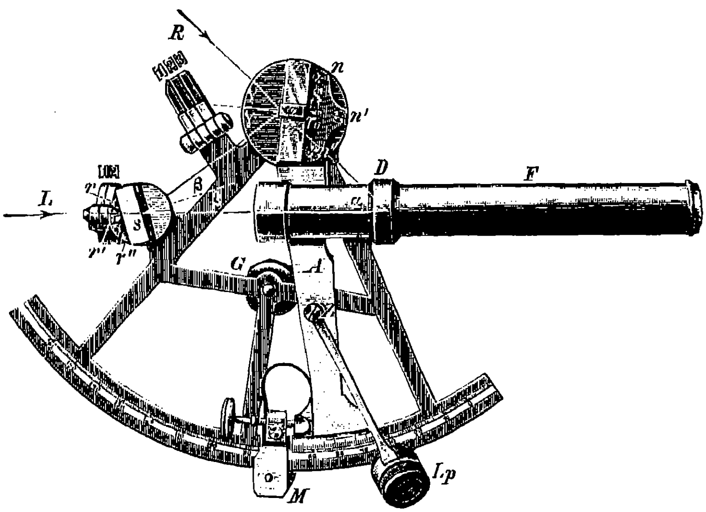


Fig. 749.

durch 3 Schrauben n n′ n″, welche durch einen Ansatz hindurchgehen, ein für allemal so mit der Alhidade fest verbunden, dass der Spiegel senkrecht zur Limbusebene zu stehen kommt. Die Alhidade trägt unter dem Spiegel die Axe, um welche sie sich mit dieser zugleich dreht; am anderen Ende trägt sie den Nonius zur Ablesung des eingestellten Winkels.[1]) Der Sextantenkörper selbst ist auf verschiedene Weise gebildet, stets muss er aber so eingerichtet sein, dass keine Verbiegungen und Formveränderungen vorkommen können und dass ausserdem das Instrument möglichst leicht wird. Auf diesem Körper ist dem grossen Spiegel und dem Fernrohr F gegenüber der kleine Spiegel s so angebracht, dass er sich durch verschiedene Korrektions-

[1]) Die Fig. 750, welche einen theilweisen Querschnitt durch die die Spiegel tragenden Theile eines Sextanten giebt, lässt sowohl die Befestigung und Fassung der Spiegel S und s, als auch eine vielfach angewandte Form der Alhidadenaxe C′ und deren Führung in den Büchsentheilen C und H sehr gut erkennen.

schrauben einmal senkrecht zur Limbusebene und dann auch parallel zu derjenigen Richtung stellen lässt, welche der Fläche des grossen Spiegels entspricht, wenn vermittelst des Vernier auf der Theilung 0° 0′ 0″ abgelesen wird. Das wird ebenso wie bei S dadurch bewirkt, dass der in seiner oberen Hälfte unbelegte kleine Spiegel in einem besonderen Kasten sitzt. Die Theilung selbst ist nur bei ganz billigen Instrumenten auf der aus Messing oder Hartguss hergestellten Limbusfläche des Sextantenkörpers selbst eingravirt. Bei allen

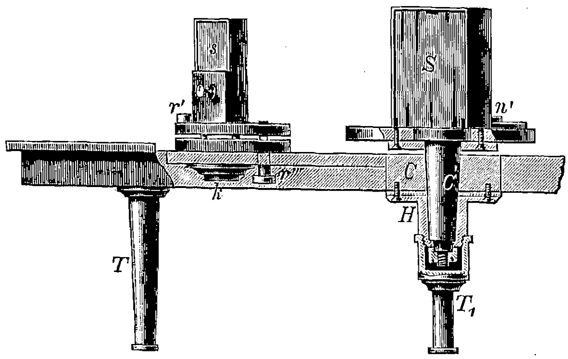


Fig. 750.
(Aus Hunaeus, Geometr. Instrumente.)

besseren Instrumenten ist zur Aufnahme der Theilung ein Silber- oder Platinstreifen eingelassen. (Vergl. Kreistheilungen.)

Durch eine an der Alhidade angebrachte Klemme mit Feinbewegung M können die Bilder der nach R und L hin gelegenen Objekte im Gesichtsfeld

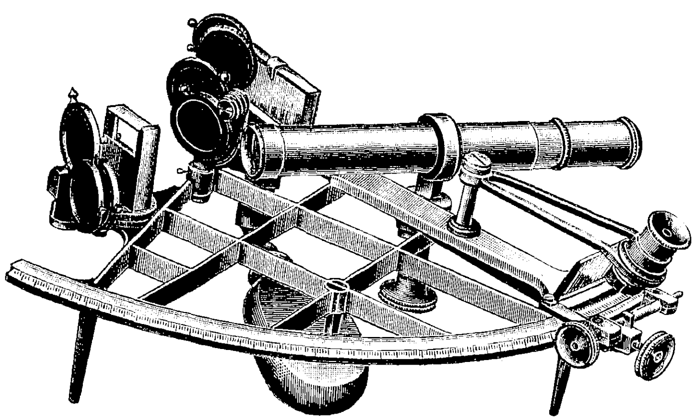


Fig. 751.

scharf zur Deckung gebracht und die Alhidade fixirt werden. Die Lupe Lp, welche sich um einen Zapfen Z leicht bewegen lässt, dient zur Ablesung von Vernier und Theilung. Diese Theilung ist bei dem Sextanten sowohl, wie bei den anderen Reflexionsinstrumenten so eingerichtet, dass der Theorie entsprechend die Bezifferung den doppelten Betrag des von dem betreffenden Bogen überspannten Centriwinkels angiebt. Beträgt also z. B. der Winkel OSS′, Fig. 748,

30°, so findet man an dieser Stelle der Theilung schon 60° angegeben, also die Grösse des gemessenen Winkels. Zu diesen Hapttheilen des Instrumentes kommen noch einige weitere Einrichtungen. Bei [1] [2] [3] und (1) (2), Fig. 749, sind die sogenannten Blendgläser angebracht; farbige Glasscheiben in je einer Fassung, mittelst welcher sie sich vor die Spiegel S und s drehen lassen, um das von Sonne, Mond oder einem anderen hellen Objekt kommende Licht soweit abzublenden, dass es im Gesichtsfeld das Bild des anderen Objekts nicht überstrahlt. Demselben Zwecke dient auch eine Bewegung des Fernrohrs mittelst des Ringes D, welcher durch eine Schraube der Sextantenebene genähert oder von ihr entfernt werden kann, um so die Querschnitte der von den beiden Hälften des kleinen Spiegels in das Fernrohr gelangenden Strahlenbüschel variiren zu können.

Für Beobachtung von Sonnenhöhen über einem künstlichen Horizonte pflegt man besser anstatt der erwähnten Blendgläser ein einziges solches — ein Sonnenglas — vor das Okular zu befestigen; dadurch werden die Ungenauigkeiten der verschiedenen Blendgläser die Messung nicht beeinflussen können.

Die verschiedenen Anforderungen, welche an einen guten Sextanten gestellt werden müssen, und die Mittel, die von den einzelnen Werkstätten angewandt werden, denselben gerecht zu werden, sind ziemlich zahlreich.

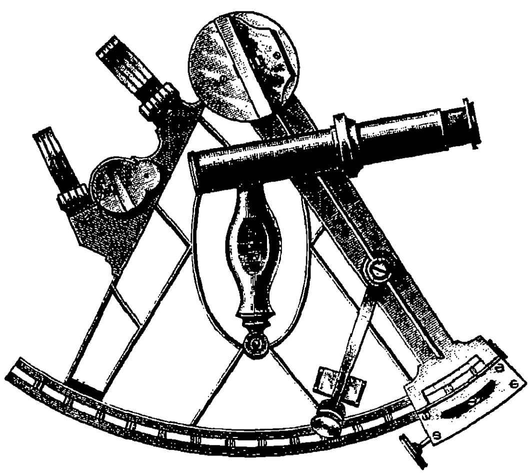


Fig. 752.

α. Der Sextantenkörper.

Zunächst soll der Sextant leicht, aber doch möglichst steif sein, denn er muss in weitaus den meisten Fällen in der freien Hand gehalten werden. Die Benutzung eines Stativs, deren man mehrere konstruirt hat, ist immer umständlich; vergl. S. 811 ff. Um die erwähnte Bedingung zu erfüllen, macht man den Körper des Sextanten nicht mehr aus Holz, wie es früher vielfach geschah, sondern aus Metall, und zwar, wie die Fig. 749, 751, 752 und 753 zeigen, in durchbrochener Arbeit. Die stehenbleibenden Rippen müssen so angeordnet sein, dass man das Instrument leicht mit einem Handgriff versehen kann, aber so, dass durch diesen keine Spannungen im Rahmwerk veranlasst werden. Deshalb sind die nur mit einer Schraube befestigten Griffe, Fig. 749 u. 759, den doppelt verschraubten vorzuziehen, wenn die letzteren nicht sehr sorgfältig und mit einem kleinen Spielraum gearbeitet sind. Die Engländer, namentlich TROUGHTON, suchten recht erfolgreich Leichtigkeit und Stabilität durch die in Fig. 753 dargestellte Form zu erreichen. Es wurden zwei dünne, in geeigneter Weise durchbrochene Platten mittelst senkrechter Säulen gut und fest verschraubt und so geringe Schwere mit Festigkeit vereinigt.

β. Die Spiegel und Blendgläser und ihre Untersuchung.

Die beiden Spiegel müssen planparallele Flächen haben. Diese Bedingung wird namentlich für den grossen Spiegel gefordert, da bei ihm eine Abweichung dazu führt, dass das von der vorderen Fläche des Spiegels erzeugte Bild mit dem helleren der hinteren, belegten Fläche nicht völlig zusammenfällt, wodurch die Bilder verwaschen erscheinen. Ausserdem aber entstehen auch, was weit schlimmer ist, vermöge der Brechung der Lichtstrahlen beim Durchgang durch den dann keilförmig gestalteten Spiegel, je nach der verschiedenen Grösse des Einfallswinkels, auch verschiedene Fehler in der Winkelmessung. Der Vorgang dabei ist dann der folgende:[1] Trifft ein von dem Objekt A, Fig. 754, ausgehender Strahl den Glasspiegel an der Vorderfläche V V′, so wird dort der kleinere Theil seiner Intensität nach den einfachen Gesetzen der Reflexion zurückgeworfen werden; der bei weitem grösste Theil des

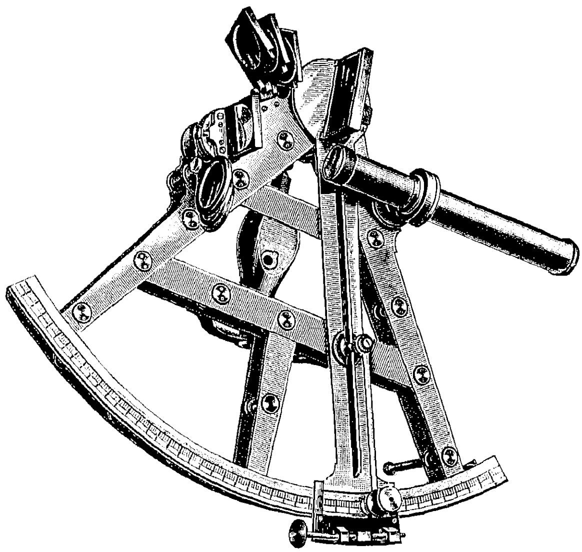


Fig. 753.

Lichtes wird aber nach einer Brechung in B nach der belegten Fläche des Spiegels R R′ gelangen, dort durch Reflexion in der Richtung C B′ so weitergehen, dass $\beta = \beta'$ wird und sodann in B′ beim Austritt in das dünnere Medium wieder eine Brechung erleiden, um schliesslich nach A′ hin zum kleinen Spiegel weiter zu gehen. Ist μ der Brechungskoefficient des Glases, so hat man nach bekannten optischen Gesetzen:

(1) im Punkte B: $\sin \alpha = \mu \sin \varepsilon$, im Punkte B′: $\sin \alpha' = \mu \sin \varepsilon'$.

Ist nun δ der von den Flächen V V′ und R R′ eingeschlossene Winkel, so ergeben sich noch folgende Beziehungen:

$$(2)\quad \begin{cases} \varepsilon + (90^0 - \delta) + (90^0 - \beta) = 180^0 \text{ oder } \varepsilon - \delta - \beta = 0 \\ \varepsilon' + (90^0 + \delta) + (90^0 - \beta') = 180^0 \text{ oder } \underline{\varepsilon' + \delta - \beta' = 0} \\ \text{und da } \beta = \beta', \text{ so wird: } \qquad \varepsilon - \varepsilon' = 2\,\delta. \end{cases}$$

[1]) Vergl. Eylert, Der Sextant (Aus dem Archiv der Seewarte 1881, Nr. 4).

Weiterhin ist aber auch:

$$\left.\begin{array}{rl} & (90^0 - \alpha) + \beta_1 + (90^0 + \delta) = 180^0 \\ \text{daraus} & (90^0 - \alpha') + \beta_2 + (90^0 - \delta) = 180^0 \\ \hline & \beta_1 - \beta_2 = \alpha - \alpha' - 2\,\delta. \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad (3)$$

Der Unterschied zwischen den Werthen β_1, β_2 resp. α, α' zeigt, dass für verschiedene Einfallswinkel α die Winkel β_1 und β_2 verschiedene Differenz besitzen und somit auch α' mit α selbst veränderlich ist und zwar in einer von dem Konvergenzwinkel δ abhängigen Weise. Bei Kenntniss von α liesse sich durch obige Gleichungen auch α' berechnen, der Weg wird aber für die hier in Betracht kommenden sehr kleinen Winkel von δ und $\alpha - \alpha'$ einfacher, wenn man nach (1) und (2) berücksichtigt, dass

$\sin \alpha' = \mu \sin (\varepsilon - 2\,\delta)$ sehr nahe gleich $\mu \sin \varepsilon - 2\,\mu\,\delta \cos \varepsilon$ ist.

Dieses giebt mit (1) vereinigt: $\sin \alpha - \sin \alpha' = 2\,\mu\,\delta \cos \varepsilon.$
Weiterhin ist auch sehr nahe $\sin \alpha - \sin \alpha' = (\alpha - \alpha') \cos \alpha,$

folglich auch
$$\alpha - \alpha' = 2\,\mu\,\delta \frac{\cos \varepsilon}{\cos \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Durch Übergang zum Cosinus folgt aber aus der Gleichung (1) sofort:
$$\cos \varepsilon = \frac{1}{\mu} \sqrt{\mu^2 - 1 + \cos^2 \alpha};$$
diesen Werth in (4) eingesetzt, hat man:
$$\alpha - \alpha' = 2\,\delta \sqrt{1 + (\mu^2 - 1) \sec^2 \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$
und damit auch
$$\beta_1 - \beta_2 = 2\,\delta \left(\sqrt{1 + (\mu^2 - 1) \sec^2 \alpha} - 1\right).$$
Die Gleichung (5) gestattet also die Berechnung des Fehlers einer Messung des Winkels α, welcher durch die Neigung der beiden Flächen des grossen

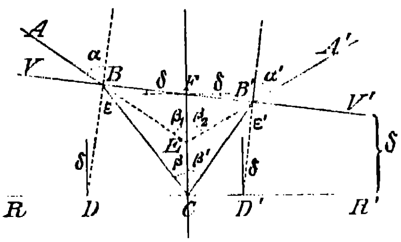


Fig. 754.

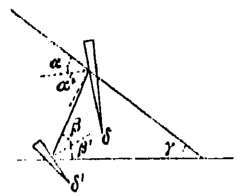


Fig. 755.

Spiegels vom Betrage δ hervorgebracht wird, vorausgesetzt, dass diese Flächen Ebenen sind und ihre Durchschnittslinie senkrecht zur Sextantenfläche steht. Eine Abweichung im ersteren Sinne wird sich aber sofort durch schlechte Bilder oder durch Betrachtung einer geraden Linie (Hauskante, Fensterkreuz oder dergl.) im Spiegel erkennen lassen, während ein Fehler der zweiten Art sich bei der Messung selbst mit anderen Fehlerquellen des Sextanten vermischen wird, so dass dann thatsächlich nur die Projektion von δ des eigentlichen Neigungswinkels auf die Sextantenfläche in Frage kommt.

Die Zahl μ wird nun für Luft und das gewöhnliche in Deutschland und England zu Spiegeln verwendete Glas sehr nahe gleich 1,5 sein, so dass man

$\mu^2 - 1 = 1{,}25$ setzen kann. Damit lässt sich dann leicht eine Tafel für die Werthe von $\alpha' - \alpha$ und $\beta_1 - \beta_2$ berechnen.[1])

Wären die Flächen der Spiegel planparallel, so würde in Fig. 755 $\gamma = 2\alpha - 2\beta$ werden, weil dann $\alpha = \alpha'$ und $\beta = \beta'$ ist, für den Fall prismatischer Spiegel aber, wird der für den Winkel γ am Sextanten abgelesene Winkel γ' sein und dann wird $\gamma' = (\alpha + \alpha') - (\beta + \beta')$, wenn γ' den doppelten Drehungswinkel des grossen Spiegels bedeutet.

Ebenso würde die Differenz zwischen Einfalls- und Ausfallswinkel auch beim kleinen Spiegel sich finden

$$\beta - \beta' = 2\,\delta' \sqrt{1 + (\mu^2 - 1)\sec^2\beta},$$

wenn hier δ' der Konvergenzwinkel ist. Da aber die Winkel β und β' der Konstruktion des Instruments entsprechend für alle Messungen konstant bleiben, so wird $\beta - \beta'$ gleich einer Konstanten sein und deren Werth bei der Messung schon dadurch eliminirt werden, dass auf der Theilung für die Parallelstellung beider Spiegel ein anderer Werth als Null abgelesen, also nur der Indexfehler verändert wird.

Ist der am Sextanten wirklich abgelesene Winkel γ', dann beträgt die Drehung des grossen Spiegels aber $\frac{\gamma'}{2}$. Für $\gamma' = 0$ wird $\alpha = \beta$; also muss, um die Einwirkung der Prismengestalt des grossen Spiegels auf den abgelesenen Winkel zu bestimmen, in (5) für α der Werth $\beta + \frac{\gamma'}{2}$ eingeführt werden, und man hat dann als Korrektion:

$$(6) \qquad \gamma - \gamma' = 2\,\delta \sqrt{1 + (\mu^2 - 1)\sec^2\left(\beta + \frac{\gamma'}{2}\right)} - \text{Konstante.}^{2)}$$

Den Winkel β nennt man den Schärfungswinkel des Sextanten, und er beträgt bei den gewöhnlichen Konstruktionen etwa 14^0—18^0. Je kleiner er ist, desto besser ist es, denn um so weniger wird eine Winkelmessung von der Entfernung der Objekte abhängen und desto vollkommener wird die Lichtreflexion am kleinen Spiegel sein. Der Betrag dieses Winkels lässt sich mit genügender Genauigkeit z. B. dadurch bestimmen, dass man den grossen Spiegel senkrecht zur Visirlinie des Fernrohres stellt, dann wird, wie sofort einzusehen ist, der an der Theilung abgelesene Winkel der doppelte Schärfungswinkel sein.[3])

Wird $\beta = 15^0$ angenommen, so liefert (6) nach Abzug der erwähnten Konstanten die Fehler eines zu messenden Winkels wie folgt für $\delta = 10''$:

Für $\gamma =$	0^0	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0	100^0	110^0	120^0
$\gamma - \gamma' =$	0,0	0,5	1,2	2,1	3,3	4,8	6,8	9,5	13,2	18,4	26,0	37,8	58,1″

Diese Beträge werden an den abgelesenen Winkeln additiv anzubringen sein, wenn das dickere Ende des grossen Spiegels vom Limbus abgewendet ist, wie sich aus der Fig. 755 leicht ersehen lässt; bei umgekehrter Lage des

[1]) Solche Tabellen findet man bei Jordan, Zeit- u. Ortsbestg. und Eylert, Der Sextant.
[2]) Als Konstante ist der für $\gamma = 0$ sich ergebende Werth anzunehmen.
[3]) Vergl. über andere Methoden: Handbuch der nautischen Instrumente, S. 302 u. Jordan l. c. S. 174—176.

Spiegels werden sie aber zu subtrahiren sein. Aus diesem Umstande ergiebt sich sofort eine Methode zur Untersuchung des grossen Spiegels. Misst man nämlich einen bestimmen Winkel von etwa 80—100° einmal in der einen Lage des Spiegels, nimmt diesen dann aus der Fassung und dreht ihn um, so wird eine zweite Messung desselben Winkels durch ihre Differenz mit der ersten sofort mit Hülfe des obigen Täfelchens den Spiegelfehler nach Grösse und Sinn erkennen lassen, wenn im Übrigen das Instrument unverändert blieb und namentlich auch der Indexfehler von Neuem bestimmt worden ist. Aus dem früher Gesagten geht aber auch hervor, dass Spiegel mit grossen Fehlern — etwa über 10″ — für die Messungen grösserer Winkel so ziemlich unbrauchbar sind; deshalb ist es sehr anzurathen, den grossen Spiegel schon vor Ankauf eines Sextanten oder Spiegelkreises genau prüfen zu lassen.

Man hat zu diesem Zwecke besondere Apparate konstruirt, welche auch gleichzeitig zur Untersuchung der farbigen Gläser gebraucht werden können. Ein solcher Apparat, wie er auf der deutschen Seewarte zur Prüfung der Sextantenspiegel benutzt wird, soll hier noch beschrieben werden. Nachdem Pistor & Martins schon im Jahre 1848 einen ähnlichen Apparat konstruirt und in den „Blättern zur Beförderung des Preussischen Gewerbefleisses“ beschrieben hatten, baute C. Plath in Hamburg 1865 einen Apparat, mit welchem er eine Vorrichtung zum Messen der Neigung der Glasflächen verband. Letzterer Apparat und die Methode seiner Anwendung findet sich ausführlich beschrieben in der „Centralzeitung für Optik und Mechanik“, Jahrgang 1882, Nr. 23. Plath hatte vorzugsweise die Untersuchung von unbelegten Spiegeln und Gläsern ins Auge gefasst. In dem angezogenen Aufsatze zeigt er jedoch auch, wie er mit demselben die Neigung der Flächen eines belegten Spiegels zu messen im Stande ist.

Während Plath paralleles Licht verwendete, treten bei dem Apparat der Seewarte die Strahlen konvergent aus dem Objektiv des Kollimatorrohres. Bei letzterem Apparate ruht die Scheibe a mit zwei Fussschrauben auf einer kleinen Platte, die mit zwei Fernrohrständern auf einer gemeinsamen Unterlage befestigt ist. In der starken Scheibe a befindet sich senkrecht zur Verbindungslinie der Fussschrauben ein länglicher Ausschnitt, in welchem sich ein Schlitten und mit demselben die über der Scheibe a liegende Scheibe b im horizontalen Sinne verschieben lässt. In der Mitte letzterer Scheibe sitzt ein drehbarer Zapfen, mit einer dritten Scheibe c, welche mittelst zweier Ansatzzapfen drehbar ist. Auf derselben befinden sich die beiden Schrauben s, mittelst welcher die Auflegeplatte e an ihr befestigt wird. Auf dieser letzteren stehen drei Stahlstifte senkrecht, auf deren Spitzen die zu prüfenden Spiegel gelegt werden. An der Scheibe a befindet sich der Ansatz f, an welchem mittelst der Schrauben z eine weitere Schiene g fest angeschraubt ist. Durch diese Schrauben, sowie mit Hülfe der Korrektionsschraube h lässt sich der Abstand zwischen den beiden Ansatzstücken f und g um einen kleinen Betrag variiren. Das Stück g trägt an seinem Ende das Gewinde für die Fussschraube k, mit welcher sich ein Index über der getheilten Scheibe i bewegt. Es bildet somit f g einen Hebelarm, welcher durch Drehung

[1]) Eylert, Der Sextant, S. 21.

der Fussschraube k eine Neigung der Fläche e und somit des dazu parallel aufgelegten Spiegels bewirkt.

Auf der Fussplatte stehen zwei Metallträger, in welchen sich die beiden Fernrohre l und m befinden. Das Bild eines im Fernrohr l befindlichen Fadens wird nach Reflexion der Strahlen an dem Spiegel, da die Neigung beider Fernrohre gegen diesen dieselbe ist — beim Apparat der Seewarte 20⁰ — durch das Fernrohr beobachtet. In Letzterem wird nun ein doppeltes Bild des Fadens aus dem Rohr l erblickt werden, wenn die Strahlen nicht parallel auf den Spiegel fallen, nämlich einmal das von der Oberfläche des Spiegels und einmal das von seiner belegten Rückfläche reflektirte. Der Winkelabstand dieser beiden Bilder wird abhängig sein einmal von der

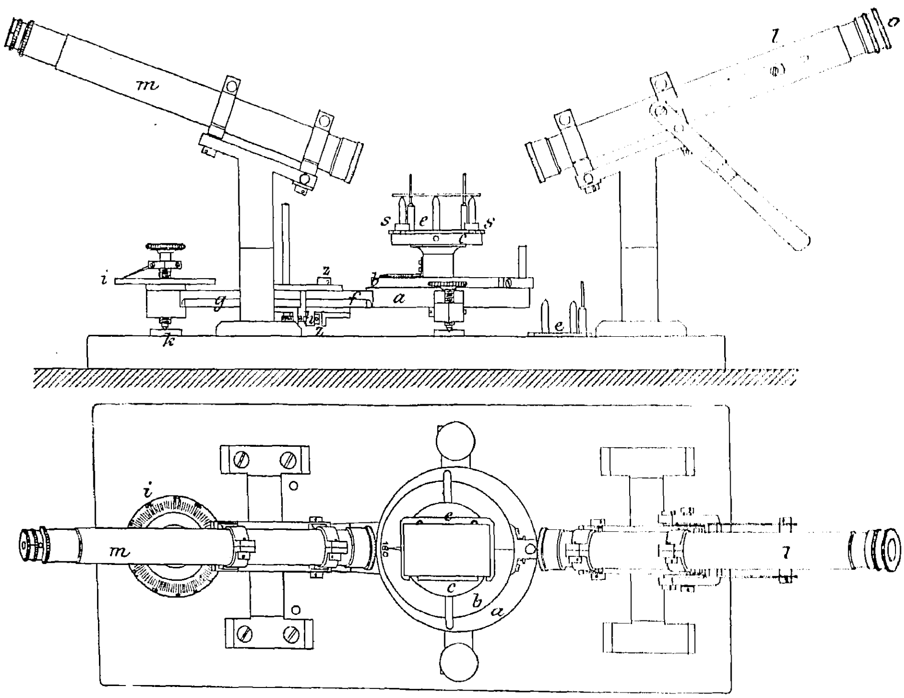


Fig. 756.
(Nach Archiv d. Deutschen Seewarte.)

Konvergenz der auf den Spiegel fallenden Lichtstrahlen, dann aber von der Dicke des Glases, seinem Brechungs-Vermögen, dem Einfallswinkel der Lichtstrahlen und der Neigung der beiden Flächen des Spiegels gegen einander.

Dreht man den Spiegel mit Hülfe der Scheibe c um 180⁰, was durch einen an ihr angebrachten Index und zwei diametrale Theilstriche auf der Scheibe b genau bewerkstelligt werden kann, so wird, wenn inzwischen die Einstellung des Fernrohrs l unverändert blieb, die Differenz der gemessenen Bildabstände nahe gleich dem doppelten Betrage der von dem Neigungswinkel der Spiegelflächen hervorgebrachten Abweichung sein. Nennt man die Neigung der Spiegelflächen δ, den Einfallswinkel des Fadenbildes α, so wird der in Rede stehende Unterschied u ausgedrückt durch

$$u = 6\,\delta \sec\alpha\sqrt{1 - {}^4/_9 \sin^2\alpha},^{1)}$$

wie in der vorhergehenden Erörterung über den Spiegelfehler gezeigt wurde.

Da nun der Einfallswinkel α bei dem Apparate der Seewarte 70^0 beträgt, so wird $u = 13{,}684\ \delta$, oder

$$\delta = \frac{u}{13{,}684} = 0'',073\ u.$$

Durch die Schraube k lässt sich nun der Winkelabstand in beiden Lagen des Spiegels durch Einstellung beider Bilder an ein Fadenkreuz des Fernrohres m leicht messen und so der Unterschied u ermitteln. Aus der 0,2 mm betragenden Ganghöhe der Schraube folgt, dass eine Umdrehung derselben eine Winkelbewegung von einer Bogenminute verursachen würde, wenn der Hebelarm $0{,}2 \operatorname{cotg} 1'\text{mm} = 687{,}6$ mm lang wäre. Beim Apparate der Seewarte ist $^1/_4$ dieser Länge, also 171,9 mm gewählt, so dass eine Umdrehung der Schraube einer Winkelbewegung von 4′ entspricht. Die Scheibe i trägt eine Theilung von 0 bis 120, so dass ein Theil $= \frac{240''}{120} = 2''$ wird. Es sind daher die Trommeltheile, in welchen der Unterschied u ausgedrückt erhalten wird, zunächst mit 2 zu multipliciren um sie auf Bogensekunden zu reduciren, und die Konvergenz der Spiegelflächen in diesem Maasse ausgedrückt wird dann wegen der Verdoppelung durch Reflexion:

$$\delta = 4 \times 0{,}073\ u = 0'',292\ u.$$

Die Untersuchung der Planität des Spiegels geschieht mittelst des Schlittens, durch welchen die Platte b auf a verschiebbar ist. Verschiebt man dieselben im horizontalen Sinne, so wird stets ein anderer Theil des Spiegels die bilderzeugenden Strahlen aus dem Rohr l reflektiren. Ist nun der Spiegel völlig plan, so muss der Winkelabstand zwischen den beiden Bildern an allen Stellen des Spiegels dieselbe Grösse haben. Eine erhebliche Abweichung von der Planität wird daher schon nach dem Augenmaasse bei einer Verschiebung des Spiegels sich bemerkbar machen. Genauer würde dieselbe zu konstatiren sein, wenn man die Messung des Winkelabstandes für verschiedene Stellen des Spiegels wirklich ausführte.

Ueber die Frage, welches bei einem Spiegel, dessen Flächen nicht parallel sind, das dickere und welches das dünnere Ende ist, giebt folgende Ueberlegung Auskunft. Sieht man in der Richtung des Fernrohrs m auf den Spiegel, so wird man das von der unteren (belegten) Fläche reflektirte Bild unterhalb des von der vorderen Fläche reflektirten erblicken müssen. Da man aber bei dem Apparate durch ein umkehrendes Fernrohr sieht, so wird man das hellere Bild oberhalb des schwächeren sehen. Ist nun der Spiegel mit seinem dickeren Ende dem Beobachtungsfernrohre zugekehrt, so dass seine Flächen nach dem Beobachter hin divergiren, so wird das von der unteren Fläche reflektirte Bild weiter vom Einfallslothe abgebrochen, also weiter nach oben, mit dem freien Auge, oder weiter nach unten, im umkehrenden Fernrohr gesehen, und rückt daher näher an das

[1]) Diese Formel folgt aus der oben gegebenen, wenn man $\mu = 1{,}5$ setzt.

andere, schwächere Bild heran. In derjenigen Lage des Spiegels, in welcher man die Bilder der beiden Fäden am nächsten bei einander erblickt, ist also das dickere Ende dem Beobachter zugekehrt. Buff & Berger haben für das Naval Observatory in Washington zur Prüfung der Spiegel und Blendgläser ebenfalls einen Apparat gebaut, welcher in Fig. 757 dargestellt ist. Auf dem vor dem Fernrohre stehenden Tisch werden die Gläser aufgestellt und die Bilder, welche das durch den Kollimator hindurchgehende Licht erzeugt, in den langen Fernrohr beobachtet. Die Beleuchtung erfolgt mittelst des heliostatenähnlichen Reflektors von dem einen Ende des Instruments aus.

Die Untersuchung der Blendgläser ist deshalb nöthig, weil es namentlich bei Mondbeobachtungen und bei Beobachtungen auf See nicht immer möglich ist, Indexfehler und Messung selbst mit Benutzung derselben Blendgläser vornehmen zu können. Würde das der Fall sein, so hätte eine prismatische

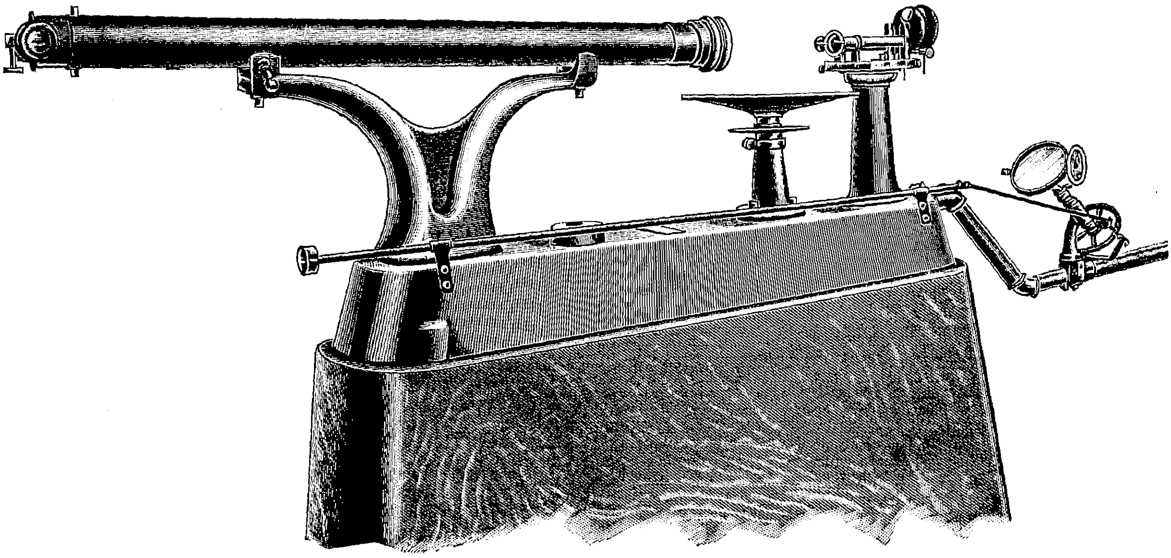


Fig. 757.

Gestalt der Blendgläser nur einen Einfluss auf den Indexfehler, würde also nach Bestimmung des letzteren mittelst derselben Gläser eliminirt werden. Man hat neuerdings die Gläser so eingerichtet, dass man sie entweder in ihren Fassungen oder mittelst eines senkrechten Zapfens um 180° drehen kann. Während der Hälfte der Messungen einer Reihe werden sie dann in der einen Lage und während der anderen Hälfte in der um 180° verschiedenen Lage benutzt. Wie oben schon bemerkt, können diese Blendgläser auch mit dem Spiegelprüfungsapparat, wenn dieselben nicht zu dunkel sind oder statt des Fadenkreuzes im Kollimator ein heller Lichtpunkt benutzt wird, untersucht werden. Aber auch der Beobachter selbst kann sie dadurch in genügender Weise prüfen, dass er z. B. die Mondränder einmal mit zwischengeschalteten Blendgläsern und einmal ohne solche zur Berührung bringt und sieht, ob dieselbe Ablesung erhalten wird. Für die dunklen Gläser kann man meist auch an der

Sonne durch geeignete Kombination derselben unter einander auf demselben Wege ein Urtheil über ihre Brauchbarkeit gewinnen. Ist es aber nicht dringend nöthig, dieselben zu benutzen, so geschieht die Abblendung weit besser durch Anwendung eines Sonnenglases vor dem Okular.

Nachdem man sich von der Brauchbarkeit der Spiegel überhaupt überzeugt hat, ist es das Erste, das Instrument auf die Stellung der Spiegel hin zu prüfen, da das ohne weiteres wie folgt geschehen kann. Man stellt den Nullpunkt der Alhidade auf etwa 50° und bringt nun das Auge ganz nahe an den grossen Spiegel so heran, dass man in demselben einen Theil des Limbus gespiegelt sieht, während nahezu derselbe Theil auch direkt gesehen wird. Steht der grosse Spiegel senkrecht auf der Ebene des Sextanten, so wird es scheinen, als ob das reflektirte Bild des Limbus die genaue Fortsetzung des direkt gesehenen ohne irgend welchen Knick bilde. Tritt diese Erscheinung jedoch nicht ein, sondern liegt der eine Theil der Theilung über dem anderen, so steht der grosse Spiegel nicht senkrecht. Eine einfache Überlegung zeigt, dass das reflektirte Bild über dem direkten zu liegen scheint, wenn der grosse Spiegel mit seiner oberen Kante nach dem kleineren Spiegel hingeneigt ist.

Bezüglich einer etwas genaueren, aber weit umständlicheren Methode vergl. Jordan l. c. S. 176. Ein kleiner Fehler nach dieser Richtung ist für die Messung ziemlich unschädlich, wie aus der genähert richtigen Beziehung:

$$k = 2\,b^2 \operatorname{tg} {}^1/_4\,\gamma \sin 1'',$$

wo k die an den gemessenen Winkel γ anzubringende Korrektion — und zwar immer negativ — und b die Spiegelneigung in Minuten beträgt.

b \ γ	20°	40°	60°	80°	100°	120°
10′	k = 0,3″	0,6″	0,9″	1,2″	1,6″	2,0″
20′	1,2	2,4	3,7	5,1	6,5	8,0
30′	2,8	5,5	8,4	11,4	14,7	18,1
1°	11,0	22,2	33,7	45,8	58,7	72,6

Die Korrektur dieses Fehlers ist bei älteren oder weniger exakt ausgeführten Instrumenten noch vielfach durch Verstellung des grossen Spiegels in seiner Fassung durch ein in der Mitte der oberen Kante von hinten auf den Spiegel drückendes Schräubchen zu ermöglichen. Neuerdings setzt man den grossen Spiegel in seiner Fassung fest und lässt durch die drei Schräubchen n, n′ und n″, Fig. 749, welche entweder alle Zug- resp. einfache Befestigungsschrauben sind oder von denen n′ als Druckschraube wirkt, der Spiegelfassung eine kleine Korrektur zu. Im ersten Falle muss durch Unterlegen von Stanniolplättchen an den betreffenden Stellen, im zweiten durch Lösen von n und n″ und Verstellung von n′ dem grossen Spiegel die senkrechte Lage gegeben werden. Hat man dieses erreicht, so ist nunmehr leicht auch der kleine Spiegel senkrecht zur Limbusebene zu stellen, man hat dann nur nach Einstellen der Alhidade auf nahe Null einen Stern, die Sonne, oder ein geeignetes entferntes irdisches Objekt sowohl direkt gesehen, als auch

doppelt reflektirt in das Gesichtsfeld zu bringen. Können die beiden Bilder genau zur Deckung gebracht werden, so ist der kleine Spiegel auch senkrecht; gehen jedoch beim Bewegen der Alhidade die Bilder an einander vorüber, so muss die Stellung des kleinen Spiegels so lange korrigirt werden bis die vollständige Deckung erreicht ist. Dabei wird im Allgemeinen der Index des Verniers nicht auf 0^0 stehen, sondern man wird eine andere Ablesung erhalten. Diese Abweichung von dem Nullpunkt der Theilung nennt man den Indexfehler. Auch dieser lässt sich, wenn man es für nöthig erachtet, durch Korrektion am kleinen Spiegel wegschaffen. Dazu kann derselbe meist mit seiner Fassung sowohl durch die Schrauben r und r″ gegen die Sextantenebene geneigt, als auch durch eine in den Fig. 750 und 758 bei k besonders dargestellte Einrichtung um eine Vertikalaxe gedreht werden.

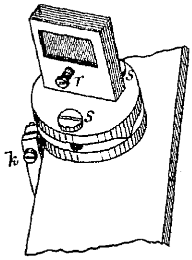
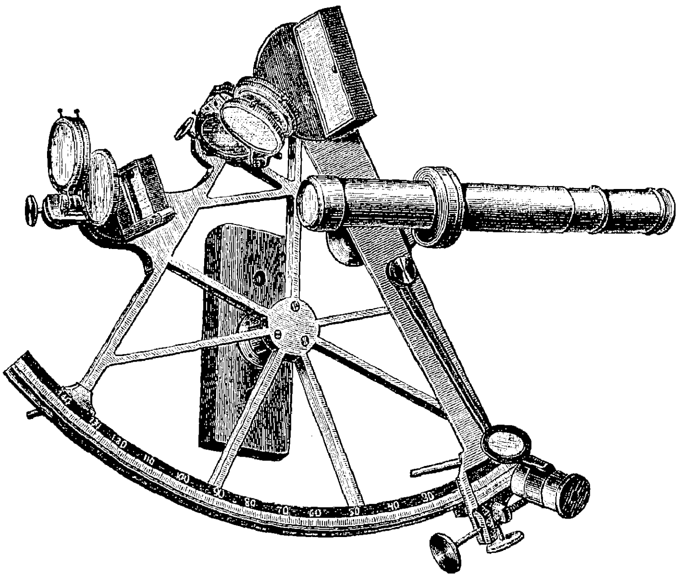


Fig. 758.

Es ist bei der Korrektionseinrichtung des kleinen Spiegels namentlich darauf Gewicht zu legen, dass die beiden Bewegungen senkrecht zu einander vor sich gehen und unabhängig von einander vorgenommen werden können, da sonst stets eine Berichtigung der Schiefe


Fig. 759.

des kleinen Spiegels auch sofort den Indexfehler beeinflusst und umgekehrt. Bei vielen Reflexionsinstrumenten, vergl. z. B. Fig. 759, welche einen sonst in allen Theilen mustergültigen Sextanten von Wanschaff in Berlin darstellt, ist dieser Grundsatz noch nicht genügend berücksichtigt.

γ. Das Fernrohr und seine Stellung.

Die Visirlinie des Fernrohres soll parallel zur Sextantenebene sein, da sonst namentlich bei grossen Winkeln bedeutende Fehler in der Messung entstehen können. Man untersucht die Lage des Fernrohrs am einfachsten dadurch, dass man den Sextanten auf einer sicheren Unterlage etwa horizontal

befestigt und sodann entweder über die Limbusfläche selbst oder mit Hülfe zweier ganz gleich hoher Diopter, Fig. 760, nach einem entfernten Gegenstand visirt und sodann auch mittelst des Fernrohrs beobachtet, ob das betreffende Objekt in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint. Ist das der Fall, so ist die Fernrohraxe genügend parallel dem Limbus, im anderen Falle muss das Fernrohr korrigirt werden. Das kann durch eine besondere Einrichtung des das Fernrohr tragenden Ringes geschehen. In Fig. 761 stellt R einen mit dem Prisma P aus einem Stück gearbeiteten Ring dar; in den Ring R ist aber das Fernrohr F nicht direkt eingeschraubt, sondern mit demselben durch den Ring R′, welcher das Gewinde trägt, verbunden. Der Ring R′ hat bei n zwei diametrale Ansätze, um deren Kanten er sich mittelst der Schrauben s, s′ drehen und damit gegen die Sextantenebene

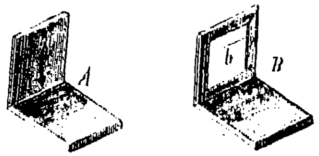


Fig. 760.

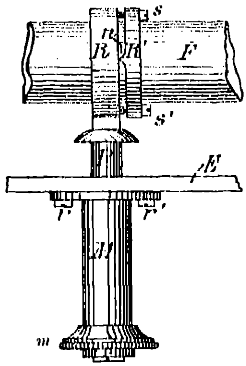


Fig. 761.

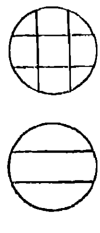


Fig. 762.

neigen lässt, bis die optische Axe des Fernrohres parallel zur Sextantenebene E wird. Die oben schon erwähnte Verstellung des Fernrohrs senkrecht zur Limbusebene geschieht durch eine besondere Feinbewegung. In der runden Säule M bewegt sich das Prisma[1]) in guter Führung (drei- oder viereckiges Prisma) auf und ab, das wird durch eine am unteren Ende des Prismas P angeschnittene Schraubenspindel und durch die Mutter bei m bewirkt, während eine um die Spindel gelegte cylindrische Spiralfeder dem Zuge von m entgegen das Prisma nach oben drückt.

Dass die Neigung des Fernrohrs nur bei grossen Winkeln eine Rolle spielt, geht aus folgender Tabelle hervor, welche die Werthe der bezüglichen Korrektion k_1 nach der Formel $k_1 = b^2 \operatorname{tg} {}^1/_2\, \gamma \sin 1''$ giebt (k_1 ist stets negativ, da die Winkel bei schiefem Fernrohr stets zu gross gemessen werden).

γ / b	10°	20°	40°	60°	80°	100°	120°
10′	k_1 = 0,2″	0,3″	0,7″	1,0″	1,4″	2,0″	3,7″
20′	0,6	1,2	2,5	4,0	5,8	8,3	14,9
30′	1,4	2,8	5,7	9,1	13,2	18,7	33,7
1°	5,5	11,1	22,9	36,3	52,8	75,0	134,9

[1]) Bei manchen Instrumenten ist auch statt des Prismas ein Cylinder eingefügt, der dann durch eine aufgesetzte Schiene an der Drehung verhindert wird.

Man spannt deshalb in dem Fernrohr auch nur ein sehr einfaches Fadennetz aus, etwa wie es Fig. 762 zeigt, und ist bei den Messungen nach Möglichkeit bestrebt die Koincidenz der beiden Bilder in der Mitte des Gesichtsfeldes zu bewirken.[1])

δ. Theilung und Indexfehler.

Damit die Theilung des Sextanten vollkommen ihren Zweck erfülle, ist zunächst erforderlich, dass dieselbe auf gutem Material, Silber oder Platin ausgeführt ist und ausserdem ihre Unterabtheilungen der gewünschten Ablesungsgenauigkeit entsprechen, weder zu klein noch zu gross sind; man wird im Allgemeinen nicht unter 10′ und nicht über 30′ gehen, dabei ist jedoch zu bemerken, dass eine Theilung von 20′ zu 20′ bei sehr guter und scharfer Ausführung oft mehr leistet, als eine solche von 10′ zu 10′ von geringerer Schärfe. Die Theilung soll völlig gleichförmig sein und natürlich möglichst frei von Theilungsfehlern. Eine Untersuchung bezüglich der letzteren lässt sich beim Sextanten ohne Hinzuziehung weiterer Hülfsmittel im Allgemeinen nur durch Vergleichung des Vernier mit den verschiedenen Stellen des Limbus vornehmen. Überspannt dieser an allen Stellen der Theilung gleich viel Grade, Minuten und Sekunden, so ist das einmal ein Zeichen, dass die letztere frei von gröberen Theilungsfehlern ist und dass auch der Drehungspunkt der Alhidade zusammenfällt mit dem Centrum der Theilung, d. h. dass der Sextant keine Excentricität besitzt. Theilungsfehler werden sich dadurch zu erkennen geben, dass die Länge des Vernier die ihr entsprechende Anzahl von Theilungsintervallen des Limbus bald überragt, bald hinter ihr zurückbleibt, dass im Mittel diese Anzahl für verschiedene Stellen der Theilung aber nahe gleich sein muss. Das Mittel aus einer grösseren Anzahl solcher Vergleichungen wird den wahren Werth der Nonienlänge ergeben, und wenn man nun mit diesen nach und nach vom Nullstrich beginnend die Theilstriche des Limbus vergleicht, so kann man auch so die Theilungsfehler des letzteren einigermassen bestimmen. Zu bemerken ist noch, dass für eine Vernierablesung dann aber immer derjenige Theilungsfehler in Rechnung zu ziehen ist, der dem koincidirenden Striche der Theilung entspricht.

Wie aus der Theorie der Reflexionsinstrumente hervorgeht, soll man an der Theilung Null Grad ablesen, wenn der direkte Strahl mit dem reflektirten parallel ist, d. h. wenn beide Spiegel ebenfalls mit ihren spiegelnden Flächen parallel sind. Ist das nicht der Fall, so hat das Instrument einen Indexfehler (früher auch häufig Kollimationsfehler genannt). Derselbe ist nun thatsächlich sehr leicht Veränderungen unterworfen. Schon die Verschiedenheit des Ausdehnungskoefficienten zwischen Glas und Messing und noch mehr zwischen Glas und Aluminium, welches man wegen seiner geringen Schwere jetzt auch schon ab und zu zur Anfertigung von Reflexionsinstrumenten verwendet hat, bringt eine gegenseitige Verschiebung sowohl der Spiegel zu einander als auch zu Limbus und Alhidade hervor. Es ist daher nöthig, bei jeder ein-

[1]) Eine zweckmässige Methode der Prüfung giebt auch Eylert l. c. S. 16.

zelnen Beobachtungsreihe, wenn irgend möglich, den Indexfehler zu bestimmen, da sein voller Betrag jeden gemessenen Winkel in gleicher Weise beeinflusst. Man bestimmt diesen Fehler am einfachsten, indem man das direkt gesehene Bild eines weit entfernten Objektes oder noch besser eines Gestirnes mit dem doppelt reflektirten, wie bei der Bestimmung der Neigung des kleinen Spiegels, zur Deckung bringt, und sodann den Kreis mittelst des Vernier abliest. Die mit dem Nullpunkt des Vernier zusammenfallende Stelle der Theilung wird dann derjenige Punkt sein, von welchem aus thatsächlich die Winkel gezählt werden müssen, und es wird daher ein an der Theilung vom Nullpunkt derselben aus abgelesener Winkel um den Betrag des Indexfehlers zu verringern sein, wenn vorhin der Nullstrich des Vernier innerhalb der eigentlichen Theilung des Limbus lag, und umgekehrt zu vergrössern sein, wenn derselbe vorhin ausserhalb der Theilung lag, d. h. eigentlich ein Winkel von 359° u. s. w. abzulesen gewesen wäre.

Da nun die Koincidenz zweier Bilder nicht so genau beobachtet werden kann wie z. B. die Berührung zweier Scheiben, so hat man namentlich bei Sonnenbeobachtungen ein vorzügliches Mittel den Indexfehler zu bestimmen, wenn man einmal den oberen Rand des direkten mit dem unteren des gespiegelten Bildes und sodann dieselben in umgekehrter Anordnung zur Berührung bringt und dabei die Bilder sich scheinbar einmal nähern und einmal sich von einander entfernen lässt. Das Mittel aus den vier Ablesungen giebt dann ohne Weiteres mit grosser Genauigkeit die Ablesung für die genaue Koincidenz der Sonnenbilder, also den Indexfehler. Ausserdem liefert die Differenz der Ablesungen für beide Sonnenränder den doppelten Sonnendurchmesser und gestattet so eine Kontrole der Messung durch Vergleichung dieses Resultates mit den Angaben eines Jahrbuches z. B.

Erste Berührg. d. Ränder	sich nähernd 0° 40′ 20″	0 40 30	½ Diff. = Sonnendurchmesser = 31′ 0″
	sich entfernend 0 40 40		
Zweite „ „ „	sich nähernd 359° 38′ 20″	359 38 30	½ Summe = Indexfehler = + 9′ 30″
	sich entfernend 359 38 40		

b. Der Excentricitätsfehler und seine Ermittelung.

Ist bei der Vergleichung der Theilung mit dem Vernier eine fortschreitende Änderung zu bemerken, so deutet dies auf eine **Excentricität**, den schlimmsten Fehler eines Sextanten. Es wird dann die Axe des Alhidadenzapfens nicht mit dem Centrum der Theilung zusammenfallen. Der Konstrukteur muss daher auf diesen Punkt ganz besondere Sorgfalt verwenden und bei dem Auftragen der Theilung den Sextanten auf das genaueste so auf der Theilmaschine befestigen, dass die Büchse für die Alhidadenaxe ganz sicher mit der Axe der Theilmaschine koncentrisch ist. Wie nöthig das ist, geht schon daraus hervor, dass bei den gewöhnlichen Dimensionen der Sextanten ein Fehler von 0,1 mm in der Centrirung im Maximum schon einem Winkelfehler von 3— 4 Minuten entspricht. Nur wenige Werkstätten sind in dieser Beziehung völlig zuverlässig. Ist einmal nach Fertigstellung des Instrumentes eine

Excentricität vorhanden, so gelingt es fast nie, dieselbe später sicher zu beseitigen. Es muss daher nach Berichtigung oder Bestimmung der oben erwähnten Fehler jeder Sextant oder Oktant, welcher zu genauen Messungen dienen soll, besonders auf seine Centrirung untersucht werden, da bei diesen Instrumenten nur ein Vernier abgelesen wird. Bei Spiegel- oder Prismenvollkreisen eliminirt er sich von selbst, da dort der Kreis an zwei diametralen Stellen abgelesen werden kann. Darauf beruht namentlich der grosse Vorzug dieser letzteren Instrumente vor dem Sextanten.

Die Bestimmung der Excentricität ist immer eine sehr umständliche Manipulation, mag man sie nun direkt mit Hülfe des Vernier, d. h. durch Vergleichen der verschiedenen Limbusintervalle, welche denjenigen des Vernier an verschiedenen Stellen des Kreissektors entsprechen, bestimmen,[1]) oder auf einer Theilmaschine oder endlich dadurch, dass man eine Reihe von Winkeln verschiedener Grösse, deren wahre Werthe anderweit bekannt sind, mit dem Sextanten misst und die gemessenen Winkel mit dem wahren vergleicht. Die Ableitung des Excentricitätsfehlers bei Sextanten ist etwa folgende:[2])

Nehmen wir an, es sei in nebenstehender Figur 763 C der Mittelpunkt des Theilkreises am Sextanten und C′ der Drehungsmittelpunkt des grossen Spiegels, also der Mittelpunkt der Winkelmessung. Hätten wir alsdann beispielsweise den Index der Alhidade vom Nullpunkte O der Theilung etwa bis B bewegt, so würde $2 \times O C' B = O C' A$ der gemessene Winkel sein, während wir am Theilkreise den Betrag des Winkels O C A ablesen. Zunächst ergiebt sich nun, dass für den Nullpunkt O die Excentricitätskorrektion C O C′ vorhanden ist. Da wir aber den Nullpunkt dahin verlegen, wo beide Bilder eines unendlich entfernten Gegenstandes sich decken, ihn also um den Indexfehler C O C′ verrücken, so überträgt sich diese Korrektion auf den Punkt P, wo sonst keine Excentricitätskorrektion vorhanden wäre, und geht im Übrigen als konstanter Theil dieser Korrektion in alle Ablesungen ein.

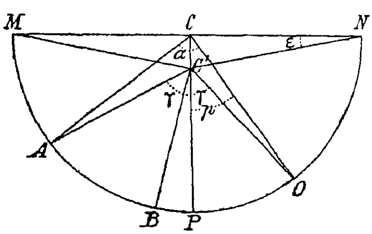


Fig. 763.

Bei einer Ablesung im Punkte A erhalten wir den Werth für den Winkel A C O, während der Winkel A C′ O gemessen ist. Es ist demnach die Excentricitätskorrektion E im Punkte A:

$$(1) \ldots \quad E = A C' O - A C O = C A C' + C O C'.$$

In den Punkten M und N würde die Excentricitätskorrektion ihr Maximum erreichen, dort würde sie sein:

$$C M C' + C O C' \text{ oder } C N C' + C O C'.$$

Bezeichnen wir nun $C M C' = C N C'$ mit ε, $C C'$ mit e und $C M = C N = C A$ mit R, so ergiebt sich aus den beiden Dreiecken $C M C'$ und $C A C'$:

---

[1]) Vergl. Jordan l. c. S. 199 ff.

[2]) Vergl. Eylert l. c. S. 24 ff.

$$e : R = \sin \varepsilon : 1$$
$$e : R = \sin CAC' : \sin AC'C;$$
$$\text{daher: } \sin \varepsilon : 1 = \sin CAC' : \sin AC'C;$$

oder, da $\sin AC'C = \sin AC'P$ und der Winkel $AC'P$, dessen Sinus nur als Faktor bei $\sin \varepsilon$ auftritt, mit dem Winkel ACP vertauscht werden kann; so ist:

$$\sin CAC' = \sin \varepsilon \sin ACP = \sin \varepsilon \sin (ACO - OCP);$$

somit, wenn wir ACO durch a und OCP durch p bezeichnen:

$$\sin CAC' = \sin \varepsilon \sin (a - p),$$

und ferner wegen der geringen Grösse von ε und CAC' mit genügender Genauigkeit,

$$(2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad CAC' = \varepsilon \sin (a - p).$$

Aus den Gleichungen (1) und (2) folgt

$$(3) \quad \ldots \quad E = CAC' + COC' = \varepsilon \sin (a - p) + COC'.$$

Für COC' finden wir aber auf demselben Wege wie oben

$$COC' = \varepsilon \sin p;$$

also: $$E = \varepsilon \sin (a - p) + \varepsilon \sin p;$$

oder (4) $$\ldots\ldots \quad E = \varepsilon [\sin (a - p) + \sin p].$$

Hiernach lässt sich also die Excentricitätskorrektion E für jeden Punkt finden, der um den Bogen $AO = a$ vom Nullpunkte der Theilung entfernt liegt, wenn nur die beiden Werthe ε und p für das betreffende Instrument bekannt sind. Diese beiden Grössen, ε, oder der Winkel, unter welchem die lineare Entfernung der beiden Mittelpunkte von einem Punkte des Theilkreises aus erscheint, dessen Radius senkrecht zu ihr steht und p, oder der Winkel, welchen die Richtung CC' mit dem Nullpunkt der Theilung einschliesst, führen den Namen „Excentricitätskonstanten“ des Instruments.

Hätte man so beispielsweise für den Punkt A die Excentricitätskorrektion E_a und für einen zweiten Punkt D, der um den Bogen d von O entfernt liegt, die Excentricitätskorrektion E_d abgeleitet, so würden wir zur Bestimmung von ε und p die beiden Gleichungen erhalten:[1])

$$E_a = \varepsilon [\sin (a - p) + \sin p],$$
$$E_d = \varepsilon [\sin (d - p) + \sin p].$$

Zum Zwecke der Ableitung der Excentricitätskonstanten nach der Methode der kleinsten Quadrate, formt man die Fundamentalgleichung

$$E = \varepsilon [\sin (a - p) + \sin p]$$

am besten in folgender Weise um

$$E = \varepsilon [\sin a \cos p - \cos a \sin p + \sin p] = \varepsilon \cos p \sin a - \varepsilon \sin p \cos a + \varepsilon \sin p.$$

Setzt man dann:

$$\varepsilon \sin p = x \text{ und } \varepsilon \cos p = y, \text{ so erhält man:}$$

$$(5) \quad E = \sin a \,.\, y - \cos a \,.\, x + x, \text{ oder } E = (1 - \cos a)\, x + \sin a \,.\, y.$$

Auf diese Weise liefert jeder beliebige beobachtete Werth der Excen-

[1]) Am Besten wird bei solchen Messungen der Indexfehler zuvor weggeschafft, auf alle Fälle aber genau bestimmt.

tricitätskorrektion eine Gleichung von der Form (5), und man kann aus diesem System linearer Gleichungen mit zwei unbekannten Grössen die wahrscheinlichsten Werthe x und y nach der Methode der kleinsten Quadrate finden. Hat man aber x und y gefunden, so erhält man:

$$(6) \ldots \frac{x}{y} = \frac{\varepsilon \sin p}{\varepsilon \cos p} = \operatorname{tang} p \text{ und } \frac{x}{\sin p} \text{ oder } \frac{y}{\cos p} = \varepsilon.$$

Für die numerische Rechnung ist aber wohl zu bedenken, dass man mit Reflexionsinstrumenten stets durch den halben Bogen den ganzen Winkel misst, d. h., dass man z. B. bei P eine Ablesung machen wird, welche doppelt so gross ist als $OP = p$. Demnach ist z. B. auch a gleich der halben Ablesung, welche beim Punkte A stattfindet, zu setzen. Wollte man also für einen Punkt G die Excentricitätskorrektion ausdrücken, so ist dieselbe

$$E_g = \varepsilon [\sin (g - p) + \sin p],$$

wo g gleich der halben Ablesung ist, die beim Punkte G stattfindet. Es wäre z. B. für die Ablesung bei 40^0 die Excentricitätskorrektion

$$E_{40} = \varepsilon [\sin (20^0 - p) + \sin p].$$

Natürlich müssen demzufolge auch die so gefundenen Korrektionen mit 2 multiplicirt werden, um damit die Ablesungen an Reflexionsinstrumenten zu korrigiren; oder umgekehrt, man muss den beispielsweise bei 40^0 gefundenen Unterschied des wahren Winkelwerthes und des gemessenen durch 2 dividiren, um E_{40} zu finden. Diese Division kann aber auch vermieden werden, indem man Gleichung (4) mit 2 multiplicirt; alsdann hat man

$$2 E = 2 \varepsilon [\sin (a - p) + \sin p],$$

welches auf das Resultat der Rechnung keinen anderen Einfluss hat, als dass man nun mit den direkt beobachteten Unterschieden 2 E die Excentricitäts konstanten 2ε und p findet, aus denen sich durch Rückrechnung dann wiederum die direkten Werthe der an die Messungen anzubringenden Korrektionen ergeben.

In der Praxis wird man stets eine grössere Anzahl von Winkelmessungen machen und diese dann ausgleichen, wodurch namentlich der Einfluss von Theilungsfehlern auf das Resultat möglichst unschädlich gemacht wird.[1]) Solche bekannte Winkel kann man sich einmal dadurch verschaffen, dass man die Distanzen von Sternen für bestimmte Höhen und Zeiten ausrechnet und diese Distanzen dann wirklich misst, oder dass man mit einem Theodoliten die Winkel zwischen einer Reihe von terrestrischen Objekten misst, diese mit ihren Elevationswinkeln auf wahre Distanzen reducirt und dann die so gefundenen Resultate mit denjenigen vergleicht, welche der zu prüfende Sextant ergab, nachdem dessen Angaben für alle anderen Fehler korrigirt wurden.

Das letztere Verfahren hat bis vor Kurzem auch die deutsche Seewarte angewendet, wo jährlich mehrere Hunderte von Reflexionsinstrumenten zur Prüfung gelangen. Erst in neuerer Zeit hat man dort einen Apparat an

---

[1]) Vergl. das nachstehend gegebene Beispiel.

geschafft, bei welchem die terrestrischen Objekte durch Kollimatoren ersetzt werden, um sich von allen Witterungseinflüssen u. s. w. unabhängig zu machen.

Derselbe ist nach den Angaben des Admiralitätsraths Koldewey von dem Mechaniker G. Hechelmann gebaut und folgendermaassen eingerichtet.[1])

Der Hauptheil des Apparates, Fig. 764, ist von der Form eines grösseren Theodoliten mit mikroskopischer Ablesung des von 5′ zu 5′ getheilten 42 cm im Durchmesser haltenden Kreises. Anstatt des Oberbaues des Theodoliten trägt in diesem Falle die Vertikalaxe dicht über der Alhidadeneinrichtung

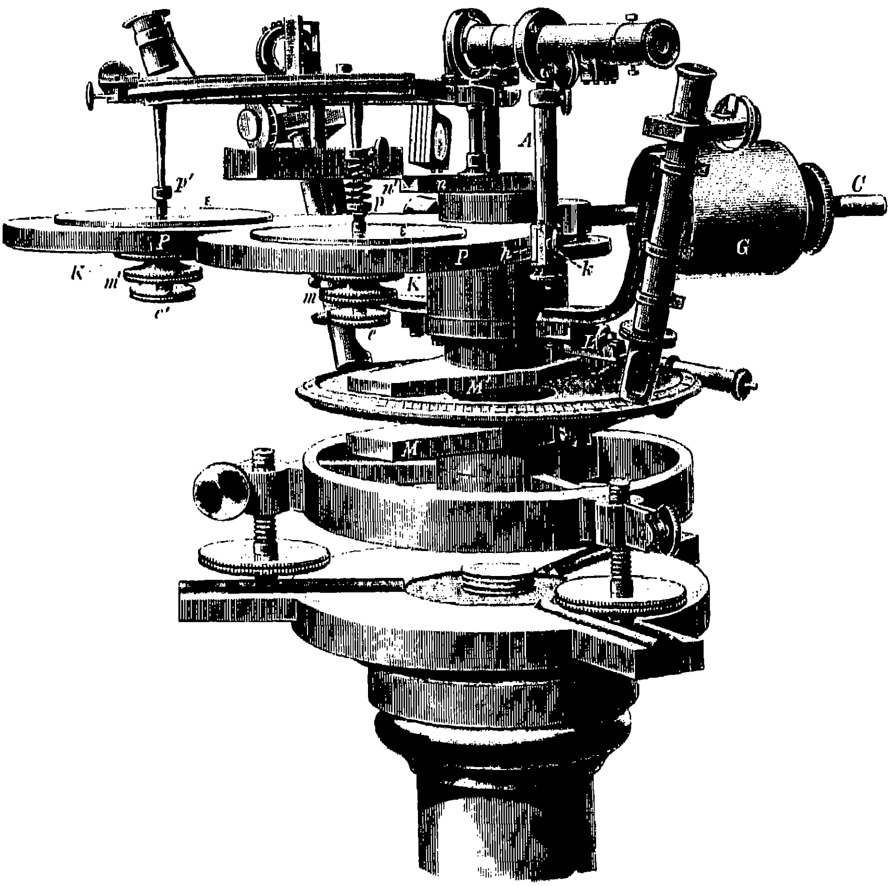


Fig. 764.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1893.)

eine grosse, starke, horizontale Platte P, welche zur Aufnahme des Sextanten bestimmt ist und zu diesem Zwecke besondere Einrichtungen aufweist. Zunächst ist dieselbe excentrisch zur Axe, damit die Drehungsaxe der Sextantenalhidade nahezu senkrecht über das Centrum des Theodoliten gestellt werden kann. Zur Herstellung des Gleichgewichtes ist diese Platte durch ein Gegengewicht G equilibrirt; dasselbe ist auf der Stange C verschiebbar, damit die Ausgleichung sowohl ohne, als auch mit aufgelegtem Sextanten erfolgen kann;

[1]) Annalen der Hydrographie 1892, Augustheft — Zschr. f. Instrkde. 1893, S. 279.

die betreffenden Stellungen des Gewichtes können durch Marken auf C kenntlich gemacht werden. An die Platte P ist fernerhin ein justirbarer Fernrohrträger A angeschraubt, da es sich empfiehlt, zur Prüfung der Instrumente ein besseres Fernrohr zu verwenden, als es denselben gewöhnlich beigegeben zu sein pflegt.

Der Sextant wird dann vor Beginn der Prüfung derart auf der Platte P befestigt, dass der Fuss unter dem grossen Spiegel, welcher gleichzeitig die Büchse der Alhidadenaxe enthält, in der aus den beiden Stahlprismen n und n′ gebildeten Rille über das Centrum der Theodolitenaxe zu stehen kommt, während von den beiden übrigen Füssen des Sextanten der eine auf der kleinen Plattform p, der andere auf p′ ruht. Die erstere ist mit einer starken Spiralfeder und einem Ringe mit Klemmschraube ausgerüstet, welche dazu dient, den Sextanten während der Prüfung in seiner Lage zu sichern. Bei vorausgehenden Versuchen hatte sich nämlich herausgestellt, dass eine weitergehende Befestigung sehr leicht zu Durchbiegungen und anderen Formveränderungen Veranlassung gab. Da aber nun die zu prüfenden Instrumente natürlich von recht verschiedener Grösse sind, so war es erforderlich, die beiden Tragplatten p und p′ verschiebbar zu machen, sowohl in horizontalem als vertikalem Sinne. Dies geschieht dadurch, dass die Spindeln, welche p und p′ tragen, mit den grossen Platten ε und ε' verbunden sind und in ihrer Fortsetzung durch weite Bohrungen der Hauptplatte P hindurchgehen, während sie nach Auflegung und Justirung des Sextanten (bezüglich seiner Lage) durch die Schrauben und Gegenmuttern K und m bezw. K′ und m′ in ihrer Lage gesichert werden können. Zunächst wird mit Hülfe des Niveaus L, welches auf der Klemmvorrichtung M′ sitzt, der Theodolit horizontirt und sodann durch Aufsetzen einer Dosenlibelle auf die Ebene des Sextanten auch diese horizontal gestellt. Die Parallelität zwischen Fernrohr und Sextantenebene wird ebenfalls durch eine Dosenlibelle und zwar durch Drehung derselben auf der Fassung des Fernrohrs, wobei die Blase der Libelle durch die Mitte gehen muss, mit Hülfe der Korrektionseinrichtung bei h und k hergestellt. (Es wäre vielleicht besser, auch ein der Fernrohraxe paralleles Niveau auf dem Fernrohr zu befestigen.) Sind nun Theodolit, Sextant und Fernrohr in die richtige Lage gebracht, wobei das letztere auf die Mitte des kleinen Spiegels gerichtet sein muss, so wird die Sextantenalhidade auf Null gestellt, und mit dem Fernrohr ein entfernter Fixpunkt oder bei unsichtigem Wetter ein in grösserer Nähe aufgestellter Kollimator anvisirt. Nach Festklemmung des Kreises stellt man die Alhidade des Sextanten auf 5^0 oder 10^0 und klemmt diese fest, worauf man nach Ablesung der Haupttheilung an beiden Mikroskopen, welche noch $10''$ direkt und einzelne Sekunden schätzungsweise geben, durch Drehung des ganzen Obertheiles wieder auf das doppeltgespiegelte Bild des Fixpunktes einstellt. Der Unterschied des auf dem Sextanten abgelesenen Kreisbogens gegen den auf dem Hauptkreise gemessenen, giebt dann den Fehler des ersteren, vorausgesetzt, dass man die Theilung des Theodoliten als fehlerfrei anzusehen berechtigt ist, was mit der hier erforderlichen Genauigkeit wohl geschehen kann. Ähnliche Apparate werden auch in Washington am Naval Observatory zur Prüfung der Sextanten verwendet.

Zur Erläuterung des auf der deutschen Seewarte angewandten Verfahrens mag das folgende Beispiel dienen.

Winkel. Wahrer Werth	Winkel. Gemessen mit dem Sextanten	Demnach Korrektion des Sextanten	Berechnete Korrektion
8° 2′ 44″	8° 2′ 7″	+ 37″	+ 19″
19 12 41	19 11 46	+ 55	+ 44
20 36 52	20 35 49	+ 63	+ 47
25 26 36	25 25 25	+ 71	+ 58
39 49 31	39 48 5	+ 86	+ 90
45 36 12	45 34 50	+ 82	+ 100
46 3 26	46 1 55	+ 91	+ 101
53 38 56	53 37 12	+ 104	+ 115
65 16 4	65 13 58	+ 126	+ 137
71 2 38	71 0 1	+ 157	+ 147
79 5 20	79 2 42	+ 158	+ 158
91 39 27	91 36 5	+ 202	+ 177
99 42 8	99 38 59	+ 189	+ 185
110 52 8	110 48 46	+ 202	+ 196
118 54 50	118 51 47	+ 183	+ 201

Aus der 3. Kolumne folgt: $\varepsilon = 142''$ u. $p = 345^\circ,4$.

In nebenstehendem Diagramm, Fig. 765, sind die direkt beobachteten Werthe der Excentricitätskorrektionen durch Kreuze bezeichnet, die Kurve geht dagegen durch die aus den mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate abgeleiteten Excentricitätskonstanten sich ergebenden Werthe. Wie man sieht, ist die Abweichung an keiner Stelle eine bedeutende. Man sieht aber sofort, zu welchen grossen Abweichungen man gelangen würde, wenn man die Bestimmung der Excentricitätskonstanten lediglich auf zwei eventuell mit erheblichen Abweichungen von den Mittelwerthen behaftete Beobachtungen gründen wollte.

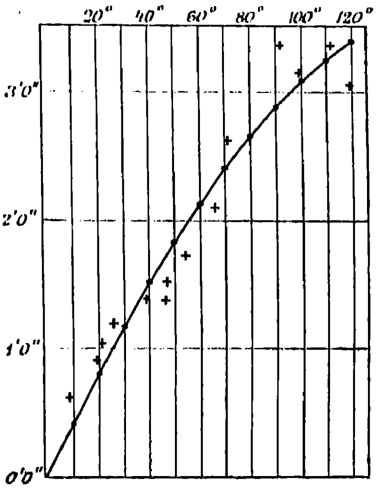


Fig. 765.

c. Der sogenannte Dosensextant.

Eine besondere Art des Sextanten, die sich von der gewöhnlichen nicht im Princip wohl aber in Grösse und Bauart unterscheidet, ist der Dosensextant. Derselbe soll vermöge seiner kleinen handlichen Form namentlich für Reisezwecke in denjenigen Fällen dienen, in denen keine grosse Genauigkeit der Messungen beansprucht wird. In den Fig. 766 u. 767 ist ein solcher dargestellt. A ist eine runde Platte, welche die einzelnen Theile trägt und durch drei Schräubchen in der Büchse B gehalten wird, wie Fig. 766 erkennen lässt. Die optischen Theile liegen auf einer Seite der Platte A und die messenden Theile — Alhidade, Theilung u. s. w. — auf der anderen Seite,

Fig. 766. S ist der grosse Spiegel, welcher mit dem durch die Grundplatte hindurchgehenden Zapfen Z mit der Alhidade M verbunden ist. Die Drehung beider wird durch ein Zahngetriebe Q bewirkt, durch welches mittelst des

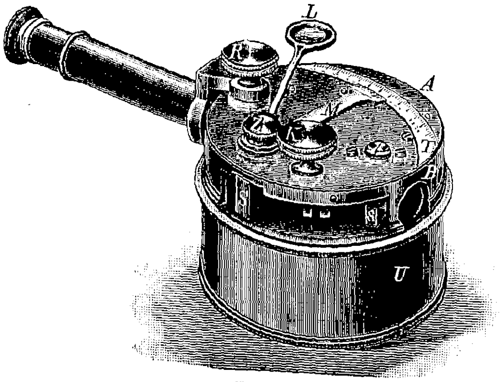


Fig. 766.

Knopfes K die gezähnte Platte p, Fig. 767, die den Spiegel S trägt, in Bewegung gesetzt werden kann. Der kleine Spiegel s ist ebenso gefasst wie bei anderen Sextantenkonstruktionen und kann vermittelst der Schraube C korrigirt werden. Bei G sind zwei Blendgläser, die vor- und zurückgeschlagen werden können, angebracht. Das Fernrohr F ist durch Schraube und Verbindungsstück R mit der Grundplatte verbunden; zur Verpackung des Instrumentes in einem kleinen Etui kann es leicht abgenommen werden. T ist die Theilung und L eine kleine Lupe. Über das ganze Instrument kann der Deckel U geschraubt werden, der in Fig. 766 von der anderen Seite an die obere Büchsenplatte angeschraubt ist und dort

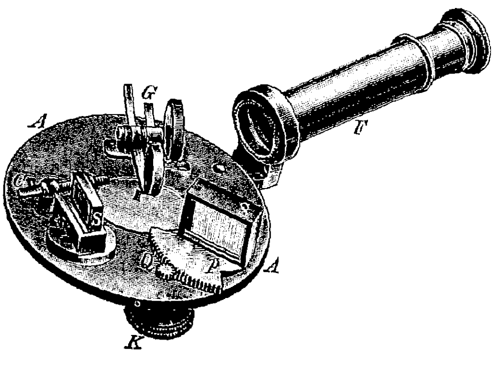


Fig. 767.

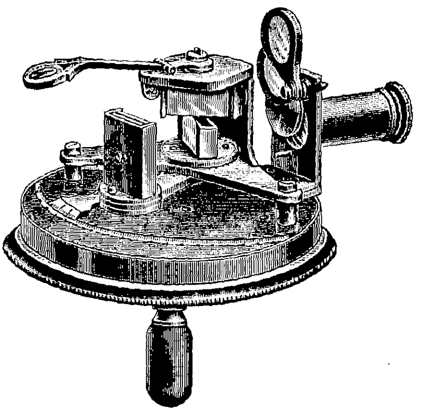


Fig. 768.

beim Gebrauche gleich als Handhabe für das Instrument dient. Eine andere Form dieser handlichen Instrumente stellt Fig. 768 nach den Angaben von Blakesley dar. Die Einrichtung wird ohne weitere Beschreibung verständlich sein und gleicht in mancher Beziehung dem später zu erwähnenden Prismenkreis von Steinheil.

d. Hydrostatoskop und Gyroskop.

Auf See hat es häufig grosse Schwierigkeiten, zur Höhenmessung den Horizont (die Kimm) mit der nöthigen Schärfe einzustellen, da dieser zu schlecht sichtbar ist. Um sich von diesem Umstand unabhängig zu machen, hat man mehrfach versucht, Instrumente zu bauen, bei denen die Visur nach der Kimm entbehrlich wird. Schon Hadley selbst hat ein solches In-

strument angegeben,[1]) welches neuerdings von Capitain RENAUF in verbesserter Weise wieder neu erfunden worden ist. Capitain RENAUF verlässt das Princip der Reflexion ganz und verbindet einen Quadranten mit einem einfachen Fernrohr; diesem Instrument fügt er dann einen eigenthümlichen Apparat bei. An dem inneren Rande eines getheilten Kreises ist eine kreisrunde transparente Röhre angebracht, welche zur Hälfte mit Quecksilber angefüllt ist, derart, dass die beiden Kuppen des Metalls nahezu auf einem Durchmesser liegen. In dem unteren Theile der Röhre, bei vertikal gehaltenem Kreise, befindet sich ein Sperrhahn, dessen Verschluss mittelst Druckknopfes durch eine Feder bewirkt wird. Wenn der Hahn geöffnet ist, so cirkulirt das Quecksilber frei in der ganzen Röhre. Sobald man aber an dem Knopfe drückt, schliesst sich der Hahn augenblicklich, trennt das Quecksilber in zwei Theile und hält diese in einer unveränderlichen Stellung, solange der Kreis vertikal gehalten wird. Der Beobachter visirt direkt nach dem Stern, indem er den vertikal gehaltenen Kreis so lange dreht, bis der Stern im Fadenkreuze des fest mit dem Kreise verbundenen Fernrohrs einsteht; sobald dies geschehen ist, drückt er an dem Knopfe, das Quecksilber wird fixirt und seine Kuppen zeigen diejenigen beiden Punkte des Kreises an, welche dem wahren Horizont entsprechen. Liest man dann mittelst einer an den beiden Enden mit Lupen versehenen Alhidade die Stellung der Quecksilberkuppen auf dem Kreise ab, so ergiebt bei der gewählten Bezeichnung der Theilung des Kreises das Mittel der beiden Ablesungen die Höhe des Gestirnes über dem Horizont. Die transparente Röhre hat man zuerst aus Glas, später aus Celluloid gemacht. Jedes Instrument wird vor dem Gebrauche auf Unregelmässigkeiten in der Form der transparenten Röhre zu untersuchen sein. Der Apparat wird vom Mechaniker HURLIMANN in Paris angefertigt.

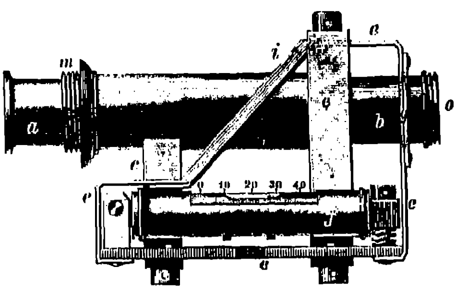


Fig. 769.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1882.)

Durch die Einführung von Gyroskopen haben LAURENT und FLEURAIS[2]) die Visur nach dem Horizont zu umgehen versucht, doch muss bezüglich deren Konstruktionen hier auf die nautische Literatur verwiesen werden.

In einfacher Weise hat der Ingenieur REITZ das Problem zu lösen versucht und in neuer Zeit hat BUTENSCHÖN in Ottensen ein dem Reitz'schen sehr ähnliches Instrument in den Handel gebracht. Bis zu mässiger Genauigkeit (2—3 Minuten) bewähren sich diese Instrumente nach dem Urtheile von Fachleuten recht gut. Es mag hier zur Erläuterung des Princips das Reitzsche Instrument noch kurz erläutert werden. In Fig. 769 ist der Apparat mit dem Fernrohre a b durch Aufschiebung einer Hülse verbunden dargestellt. Die Schraube m verbindet das Fernrohr mit dem Reflexionsinstrument. Die

[1]) Philos. Transact. 1732, S. 67.
[2]) Comptes Rendus, Bd. 103, S. 1305.

an der Hülse befestigten Arme c tragen einen Rahmen e e. Auf diesem Rahmen ist die Röhrenlibelle f befestigt. Über dieser Libelle ist am Rahmen e e ein Spiegel i befestigt, in welchem man durch die Lupe g das Bild der Libelle f sieht.

Der Gebrauch des Instrumentes ist folgender: Das Fernrohr des Reflexionsinstrumentes wird mit einem Horizontalfaden in der Bildebene versehen. Die Libelle f wird so korrigirt, dass, wenn die Luftblase in der Mitte der Theilung steht, die Visirlinie des Fernrohres horizontal ist. Man sieht nun mit einem Auge durch die Lupe g nach der Libelle, mit dem andern gleichzeitig in das Fernrohr. Hierauf sucht man die Libelle annähernd in der Mitte der Theilung zu halten; dabei dreht man die Alhidade bis auch das Objekt (Sonnenrand, Mondrand oder Stern) im Gesichtsfelde des Fernrohrs erscheint. Sobald nun das Gestirn den Horizontalfaden des Fadenkreuzes berührt, liest man gleichzeitig an einer Skala ab, wo sich in diesem Moment die Libellenblase befand.

2. Vollkreise.

Bei der Beschreibung des Sextanten ist das Princip der Reflexionsinstrumente ausführlich erläutert worden, auch wurden die Mittel zur Prüfung und Korrektion dieses Instrumentes besprochen. Im Allgemeinen gelten für Vollkreise dieselben Betrachtungen, nur werden z. B. einige Untersuchungsmethoden bei denselben etwas modificirt. Die Einführung der Vollkreise ist namentlich durch das Bestreben bedingt worden, den gefürchteten Fehler der Excentricität dadurch unschädlich zu machen, dass die Ablesungen an zwei diametralen Stellen des Kreises erfolgen, und dass man weiterhin meist an Stelle des kleinen Spiegels ein totalreflektirendes Prisma setzt, welches erlaubt noch grössere Winkel zu messen, als es ein Spiegel gestattet. Es giebt sehr zahlreiche Konstruktionen solcher Vollkreise, von denen hier einige der hauptsächlichsten beschrieben werden sollen.

a. Die Kreise nach Mayer und Borda.

Die erste Idee zu diesem Instrument ist wohl auf Tob. Mayer zurückzuführen (vergl. Tabulae Solis et Lunae). Wirklich ausgeführt worden sind solche aber erst von Bird und von Borda, zunächst in recht unhandlicher Form, so dass ein für den Admiral Campbell bestimmtes Instrument diesen für Benutzung zur See recht unbefriedigt liess.

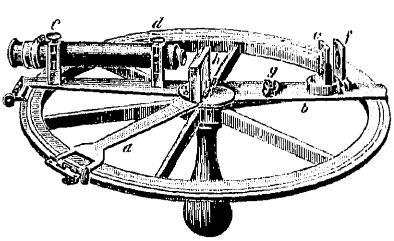


Fig. 770.
(Nach Pearson, Pract. Astronomy.)

Borda selbst hat schon Repetitions-Spiegelkreise gebaut; einen solchen zeigt z. B. Fig. 770, ebenso ist in Fig. 771 ein nach Borda's Angaben von Lenoir in Paris konstruirtes Instrument abgebildet, welches in mancher Beziehung von dem vorigen abweicht. Jordan beschreibt dieses etwa folgender-

maassen:[1]) Der Kreis hat einen Durchmesser von 25 cm und eine Theilung von 0 bis 720^0 durchlaufend. Der Hauptvortheil der Vollkreise, die Elimination der Excentricität ist nicht völlig ausgenutzt; denn es ist nur eine einseitige Alhidade HK mit einem Nonius N vorhanden. Dagegen ist nach Tob. Mayer's Ideen die Einrichtung zu einer Repetition der Winkelmessung getroffen; und da man auf diese Weise den Winkel am ganzen Limbus herum nach und nach abtragen kann, so ist dies als Ersatz eines zweiten diametralen Nonius anzusehen. Im Übrigen ist das Princip ganz dem des

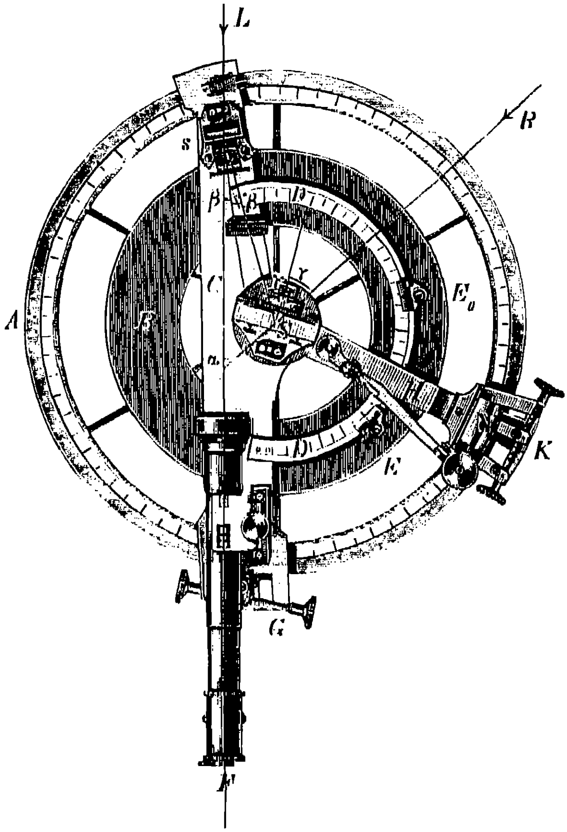


Fig. 771.
(Aus Jordan, Zeit- u. Ortsbestimmungen.)

Sextanten entsprechend; S ist der grosse und s der kleine Spiegel, der zwischen den Objekten in L und R zu messende Winkel $\alpha = 2\gamma - 2\beta$, wo γ den Reflexionswinkel am grossen Spiegel und β den Reflexionswinkel am kleinen Spiegel bedeutet. Winkel β (Schärfungswinkel) ist sehr klein, nämlich nur 8^0, was sehr günstig ist (beim Sextanten kaum kleiner als 14^0).

Was nun die Repetitionseinrichtung betrifft, so ist auf dem Limbus, zu dessen Körper auch noch die Ringplatte B gehört, ein Lineal C (grosse Alhidade) drehbar aufgesetzt, welches das Fernrohr F, den kleinen Spiegel s und den grobgetheilten Halbkreis D zu einem Stück fest verbunden trägt.

[1]) Jordan l. c. S. 219.

Dieses ganze System C, F, s, D, welches um den Limbusmittelpunkt drehbar ist, hat Hemmung und Mikrometerwerk bei G.

Unabhängig von dieser Drehung ist die Drehung der Alhidade H, welche den grossen Spiegel bei S nach Sextantenart trägt, und bei K eine Hemmung und ein Mikrometerwerk hat und den Vernier N aufnimmt.

Um den Winkel L S R zu messen, bringt man mittelst der Alhidade H die Bilder von L und R zur Deckung, und liest den Nonius N ab, die Ablesung sei a. Die Differenz $a - a_0$ beider Ablesungen giebt den zu messenden Winkel, wenn a_0 die Ablesung bei Parallelität der beiden Spiegel ist. So lange die Hemmung G der grossen Alhidade fest bleibt, kann auch die Ablesung a_0 als dieselbe bleibend angesehen werden.

Es entspricht aber dem Wesen des Instrumentes als Repetitionskreis gerade nicht, mit einer und derselben Stellung der grossen Alhidade C

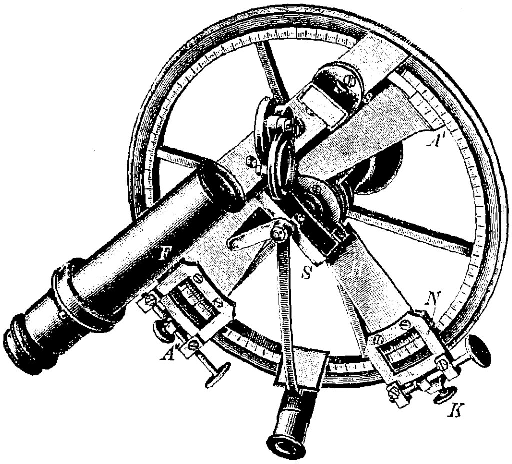
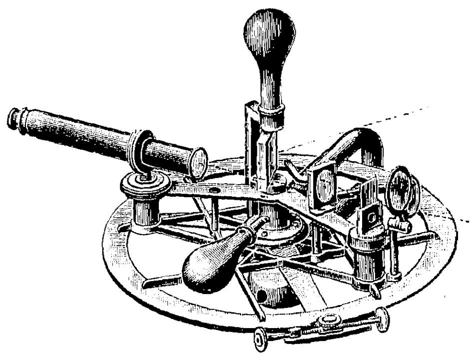


Fig. 772.


Fig. 773.

wiederholte Messungen zu machen, sondern man sollte nach jeder Messung auch die grosse Alhidade verstellen, um an möglichst verschiedenen Stellen der Kreistheilung abzulesen. Um für solche Repetitionsmessungen die Einstellungen für alle folgenden Messungen rasch zu finden, hat man auf der groben Halbkreistheilung D zwei verschiebbare und feststellbare Anschlagknöpfe E_0 und E angebracht, von denen der eine E_0 für Parallelstellung beider Spiegel und der andere E für die Koincidenz beider Strahlen L und R bestimmt ist. Die grobe Halbkreistheilung D, welche von der Mitte nach beiden Seiten bis 160^0 geht, ist hierzu gar nicht unbedingt nöthig, da man auch bei beliebiger Kreisstellung sofort nahezu eine Indexeinstellung beim Anschlag der kleinen Alhidade an E_0 und nahezu Objekteinstellung beim Anschlag an E hat. Da ausserdem die Zielpunkte L und R in Hinsicht auf direkte Visur und Doppelreflexion vertauscht werden können, so kann auch E_0 als Objektanschlag und E als Indexanschlag dienen.[1])

[1]) Solche Anschläge sind jetzt auch wieder bei Sextanten angebracht worden, um eine Art Registrirmethode bei Messungen mit Spiegelinstrumenten einzuführen (vergl. Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882, S. 323).

Man kann also mit diesen Einrichtungen einen Winkel beliebig von links nach rechts oder von rechts nach links repetiren.[1])

Da man gar nicht gezwungen ist, von den Anschlagknöpfen E_0 und E einen die Messung irgendwie beeinflussenden Gebrauch zu machen, und da man auch die Alhidadenexcentricität durch eine Umstellung um 180° eliminiren kann, erscheint das ganze Instrument als eine sehr zweckmässige, wenn auch unnöthig komplicirte Konstruktion.

Die Korrektionsvorrichtungen, Blenden etc. des Borda-Lenoir'schen Kreises sind im Wesentlichen dieselben wie beim Sextanten. Eine dem

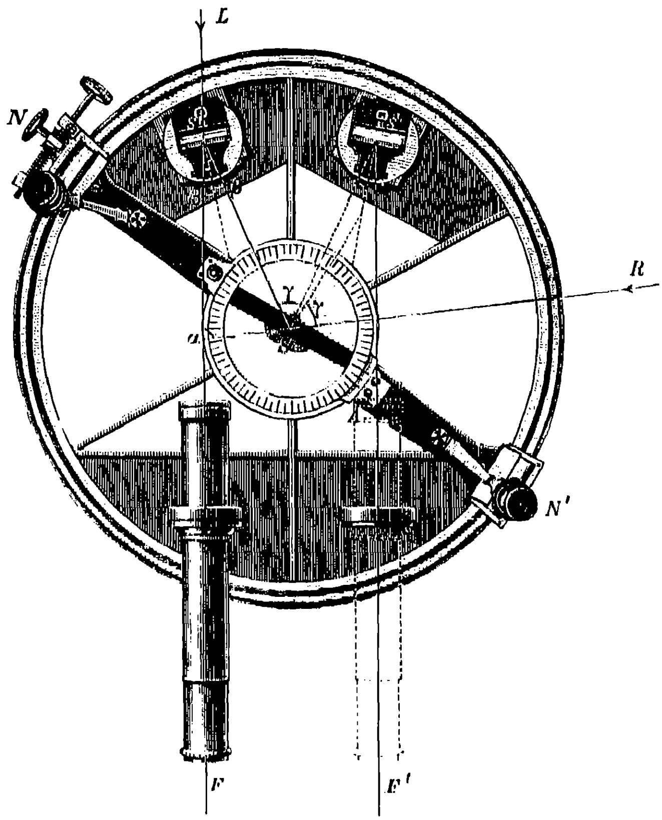


Fig. 771
(Aus Jordan, Zeit- u. Ortsbestimmungen.)

Borda'schen Kreise ganz ähnliche Konstruktion hat Meyerstein in Göttingen dem Instrumente gegeben; Fig. 772 zeigt einen solchen Repetitions-Reflektionskreis, wie er sich auf der Göttinger Sternwarte befindet. Die grosse Alhidade hat aber hier auch zwei diametral zueinander stehende Nonien A′ und A″ und besondere Hemmung und Mikrometer, während bei Borda die grosse Alhidade C zwar Hemmung und Mikrometer hat, aber keine Ablese-

[1]) Indessen werden sich wohl auch hier konstante Fehlereinflüsse bemerkbar machen, wie solche bei der Theodolitrepetition gefunden wurden.

vorrichtung. Andererseits fehlen bei dem Meyerstein'schen Kreise die Anschlagknöpfe E_0 und E und die grobe Hülfstheilung D. Die Bezifferung des Meyerstein'schen Kreises geht nicht wie bei BORDA von 0^0 bis 720^0 durch, sondern geht von zwei Nullpunkten, je nach beiden Seiten, also im Ganzen viermal von 0^0 bis 180^0. Im Übrigen ist das Princip der Ausführung ganz gleich dem bei BORDA, und es sind auch die entsprechenden gleichbedeutenden Bezeichnungen eingeschrieben.

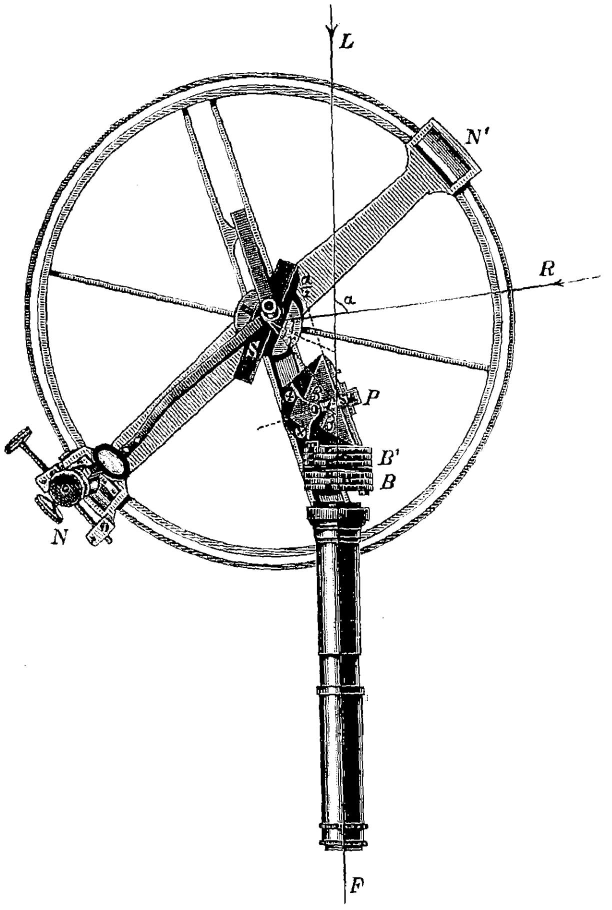


Fig. 775.
(Aus Jordan, Zeit- u. Ortsbestimmungen.)

Im Laufe der Zeit wurden noch andere Konstruktionen erdacht; so stellt Fig. 773 ein älteres Instrument nach TROUGTON dar. Eine Konstruktion, welche sich an die eben erwähnten anschliesst, hat JORDAN seinem „Doppelspiegelkreis" gegeben, den Fig. 774 zeigt.

In ein neues Stadium trat der Bau solcher Vollkreise durch die Anwendung eines Prismas an Stelle des kleinen (Horizont-)Spiegels.

b. Der Prismenkreis von PISTOR und MARTINS.

Das erste derartige Instrument von PISTOR und MARTINS in Berlin findet sich beschrieben im „Berliner Gewerbe-, Industrie- und Handelsblatt", her-

ausgegeben von A. F. Neukrantz, 14. Bd., S. 17 ff. Berlin 1845. Es werden dort folgende Vortheile der neuen Konstruktion aufgeführt:

1. Es können Winkel bis 180° gemessen werden.
2. Die Bildbeschaffenheit ist besser als bei Sextanten, namentlich für grosse Winkel.
3. Die Benutzung von Vollkreisen ermöglicht durch Ablesung zweier diametraler Verniers die Elimination der Excentricität.

Fig. 775 stellt einen solchen Prismenkreis neuerer Konstruktion von Bamberg dar. F ist das Fernrohr, B und B′ sind zwei Sätze von Blendgläsern, welche so eingerichtet sind, dass der eine Satz für das direkte, der andere für das reflektirte Bild gebraucht wird und die sich gemeinschaftlich um einen zur Instrumentenebene vertikalen Bolzen drehen, Fig. 776, damit man auf diese Weise durch Umdrehen um 180° den Gestaltfehler der Gläser eliminiren kann. Der Bolzen selbst hat eine Nuth, in die eine kleine Schraube

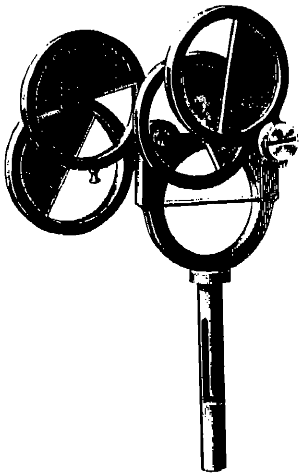


Fig. 776.

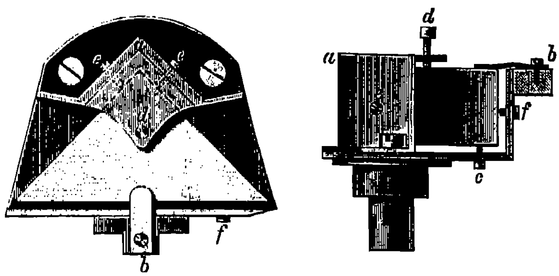


Fig. 777.
(Nach Loewenherz, Bericht.)

eingreift, die durch die Büchse des Bolzens hindurchgeht und die Drehung in der richtigen Weise begrenzt. P ist das Prisma mit Fassung. Diese Einrichtung ist in Fig. 777 für sich dargestellt und giebt die nach Döllens Vorschlag von Meissner in Berlin eingeführte Anordnung. Dieselbe besteht darin, dass alle Korrektionsschrauben vermieden sind, und die seitlichen Anlagepunkte e e und ebenso die diesen Punkten gegenüberliegende Druckspitze f der Befestigungsklammer b nach unten, möglichst nahe der Basis gelegt und ein für allemal justirt sind. Wenn dadurch auch der Mechaniker auf die erstmalige Berichtigung grössere Sorgfalt verwenden muss, so ist doch eine grössere Stabilität erzielt. In Fig. 775 ist S der grosse Spiegel, welcher auch von oben her noch durch eine über ihn hinweg greifende Winkelklammer mit centraler Körnerschraube gehalten wird; N N′ ist die Alhidade mit den beiden Nonien bei N und N′ und dem bei N angebrachten Mikrometerwerk. Die eingezeichneten Linien und Winkelchiffern deuten das Princip der Winkelmessung an, welches genau dasselbe wie beim Sextanten ist, nur dass an Stelle des kleinen Spiegels das total

reflektirende Prisma P tritt; der Strahlengang in einem solchen Prisma wird in der schematischen Zeichnung, Fig. 778, dargestellt; ein Lichtstrahl, von A kommend, wird bei B so gebrochen, dass sin $\varphi =$ n sin ψ ist, wenn n den Brechungsexponent des Prismas bedeutet, er geht sodann nach C weiter, wird hier total reflektirt und tritt bei B′ wieder so aus, dass sin $\varphi' =$ n sin ψ' $=$ n sin ψ wird. Da aber auch $\gamma = \gamma'$ sein muss und das Prisma ein gleichschenkliges sein soll, so wird auch $\varphi = \varphi'$ und der Vorgang genau derselbe sein, als wenn der Lichtstrahl in C′ an einen ebenen Spiegel unter den Winkeln β und β' würde reflektirt worden sein. Der Zweck dieser Anordnung ist der, dass durch die steiler auffallenden Strahlen bessere Bilder erzeugt werden, als sie ein Spiegel bei gleichem Werthe von β (welcher übrigens für ein und dasselbe Instrument konstant ist) zu geben vermöchte.

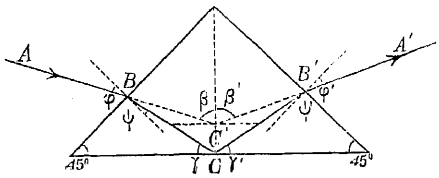


Fig. 778.

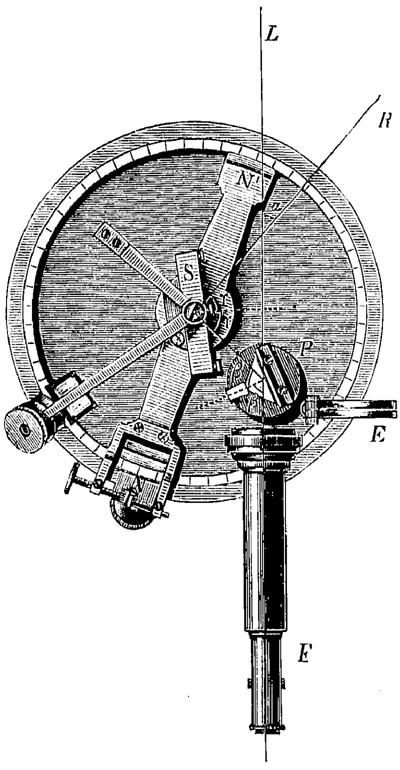


Fig. 779.

Fig. 779 zeigt einen Pistor- und Martin'schen Prismenkreis von kleineren Dimensionen, 13 cm Durchmesser, der sich von dem vorigen namentlich durch die volle Scheibe, welche den Instrumentenkörper darstellt, unterscheidet, während in Fig. 780 dieser durch ein möglichst leicht aber stabil gearbeitetes Rahmenwerk gebildet wurde. Fernrohr F, Alhidade N N′, Prisma P und grosser Spiegel S sind genau ebenso gebaut, nur die Einrichtung der Blendgläser ist etwas vereinfacht. Dieselben sind wohl zum Umdrehen eingerichtet, aber es werden für direktes und reflektirtes Bild dieselben Gläser benutzt, da dieselben in ihren Fassungen so gedreht werden können, dass sie einmal die untere und das andere Mal die obere Hälfte derselben einnehmen, wodurch sowohl das reflektirte als auch das direkt gesehene Objekt abgeblendet werden kann.

c. Der Steinheil'sche Prismenkreis.

Dieses Instrument wurde von Steinheil zu Anfang der dreissiger Jahre auf Veranlassung eines Aufsatzes von Encke im Berliner Jahrbuch für 1830 konstruirt und findet sich zuerst beschrieben in den Astron. Nachrichten Bd. 2, S. 43 ff.; während eine eingehende Theorie desselben von Bessel in

Bd. 11 derselben Zeitschrift gegeben wurde, auf welche auch hier bezüglich Einzelheiten verwiesen werden muss. Die hier gegebenen Abbildungen, Fig. 780 u. 781, sind nach einem am Polytechnikum zu Hannover befindlichen von MEYERSTEIN in Göttingen gebauten Instrument angefertigt; ein ganz gleiches Exemplar befindet sich auch auf der Göttinger Sternwarte. Eine eingehende Beschreibung findet sich in HUNAEUS, Die geometrischen Instrumente, S. 520

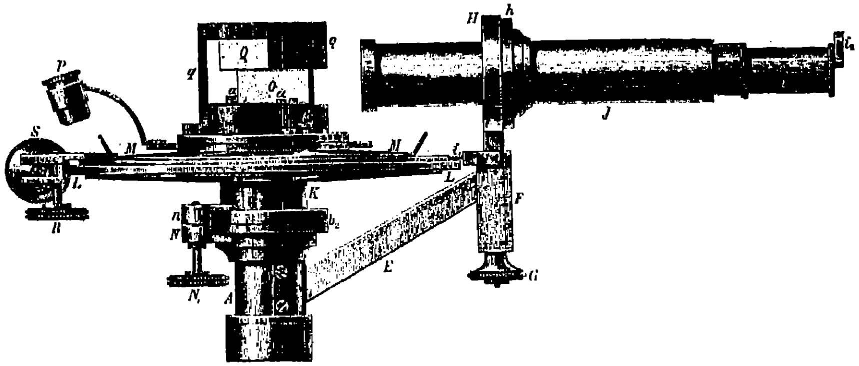


Fig. 780.
(Aus Jordan, Zeit- u. Ortsbestimmungen.)

u. 521, welcher wir hier an der Hand der auch von dort entlehnten Figuren folgen wollen; die zweite schematische Fig. 782 giebt JORDAN l. c., S. 259; sie stellt das Instrument von oben gesehen dar und zeigt direkt die Art der

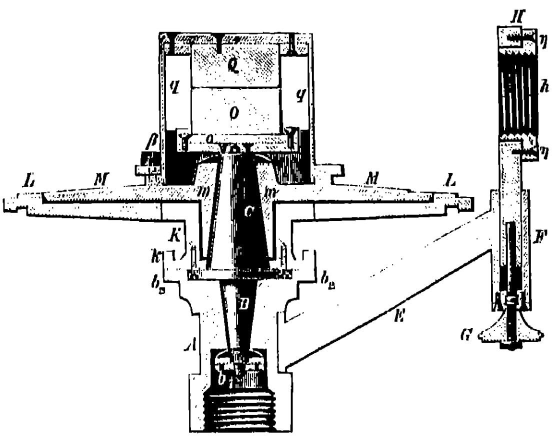


Fig. 781.

Winkelmessungen mit demselben. In der einen Querschnitt des ganzen Instruments darstellenden Fig. 781 ist A die Büchse für die Hauptaxe, welche aus zwei auf beiden Seiten einer breiten Flansche liegenden Konen B und C von verschiedenen Dimensionen besteht. Für Beobachtungen aus freier Hand wird in die Büchse A ein Handgriff geschraubt; auch kann das Instrument auf ein gewöhnliches Stativ oder auf einen eisernen Dreifuss, Fig. 783, aufgeschraubt werden.

An der Büchse ist durch ein Mittelstück der Arm E mit der Hülse F befestigt, in welcher mittelst der Schraube G der in einen Doppelring H auslaufende Träger des Fernrohrs, zur Helligkeitsänderung, sich in vertikaler Richtung auf- und abbewegen lässt. Der innere Ring h, in welchen das Fernrohr J geschraubt wird, kann mittelst zweier Korrektionsschrauben $\eta\,\eta$ gegen den äusseren verstellt werden, um die Visirlinie des Fernrohrs parallel zur

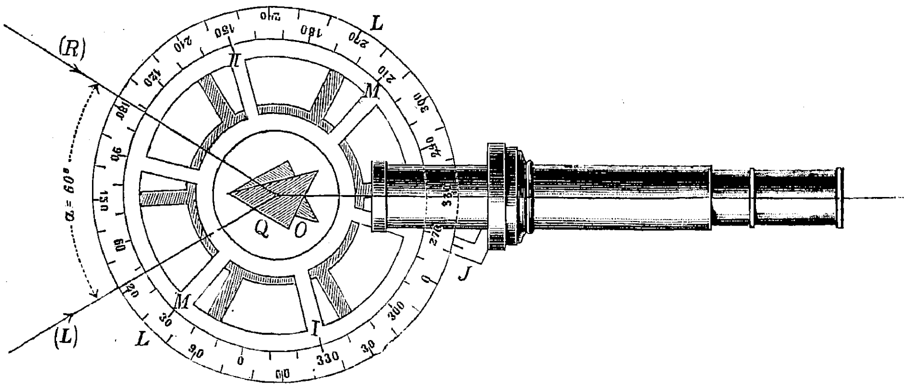


Fig. 782.
(Aus Jordan, Zeit- u. Ortsbestimmungen.)

Kreisebene zu stellen; durch die Stellschräubchen i und i_1 kann die Visirlinie so gerichtet werden, dass sie durch die Drehungsaxe der Prismen geht.

Der untere kleine Konus B passt in die Büchse A, so dass dadurch der bewegliche Haupttheil des Apparates gegen das feste Fernrohr gedreht werden kann. In der Büchse ruht er auf einer kugelkalottenförmigen Feder und wird

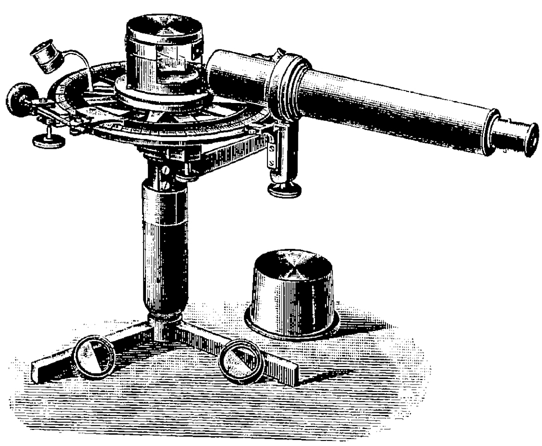


Fig. 783.

durch eine Unterlegscheibe und die Gegenmutter b_1 gegen dieselbe gehalten Nach oben erweitert sich die Büchse zu einer Scheibe $b_2\,b_2$, auf welcher die auf der Flansche festgeschraubte Büchse K mit dem Kreise L L sich drehen lässt. Innerhalb dieser Büchse und zugleich den oberen, grösseren Konus C umschliessend liegt die Büchse m m für die Alhidade M M. Zur Hemmung

der groben Bewegung des Kreises nebst der Alhidade dient die Klemme N mit der Klemmschraube N_1, indem in der ausgedrehten Nuth der an der Büchse K befindlichen Flansche k der Ansatz der Klemmplatte n seine Führung erhält. Auf dem oberen Ende des Konus C ist eine massive Platte durch Schrauben befestigt, welche die mit Korrektionsschrauben *a a* versehene Fussplatte o des Kreisprismas O trägt. Durch die auf den konischen Ansatz der Alhidadenbüchse m m gelegte kugelkalottenförmige Feder wird die Büchse so

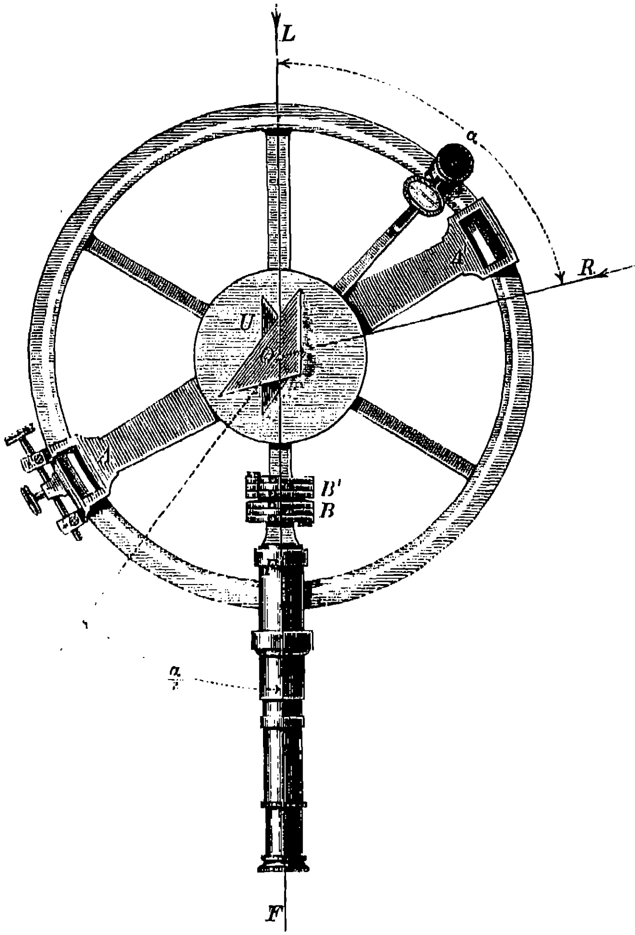


Fig. 784.
(Aus Jordan, Zeit- u. Ortsbestimmungen.)

an den Konus C gedrückt, dass auch in umgekehrter Lage des Instruments die Beobachtung sicher ausgeführt werden kann. Auf einen Ansatz der Alhidade ist der Lupenträger gesteckt und auf diesem Ansatze endlich, mit den nöthigen Korrektionsschräubchen *β β* versehen, die Büchse q q für das Alhidadenprisma Q durch Schrauben so befestigt, dass nur ein sehr schmaler Zwischenraum zwischen beiden Prismen bleibt. Die Büchse q q ist so ausgeschnitten, dass durch die Ausschnitte zwar in allen Lagen das nöthige Licht auf die Prismen gelangen kann, dagegen aber die farbigen und falschen

Bilder abgehalten werden. Durch die Klemmschraube R eines Mikrometerwerks kann die grobe Bewegung der Alhidade gehemmt, durch die Mikrometerschraube S aber die feine Axendrehung erreicht werden. Es kann demnach durch Lösung der Klemmschraube N_1 und durch Anziehung der Klemmschraube R sowohl der Kreis und die Alhidade mit den Prismen zusammen, als auch nach Anziehung von N_1 und Lüftung von R, die Alhidade mit ihrem Prisma allein gegen das Fernrohr verstellt werden. Um die erstere Drehung zu messen, enthält der silberne Limbus des Kreises zwei Eintheilungen, nämlich die von 10 zu 10 Minuten ausgeführte Haupteintheilung, von welcher die beiden Verniers der Alhidade noch 10 Sekunden unmittelbar angeben, aber 5 Sekunden noch sicher schätzen lassen und eine zweite am äusseren Rande von Grad zu Grad ausgeführte Theilung, zu welcher der Index auf einer kleinen zwischen Schraubenspitzen drehbaren und an der Hülse F befestigten Platte i_1 sich befindet.

Zur Prüfung der richtigen Stellung der Prismen, auf die es hier wesentlich ankommt, hatte Steinheil einen besonderen Apparat aus zwei Kollimatorfernrohren bestehend angegeben, welcher besonders das Zusammenfallen der Drehaxen der Prismen sowohl untereinander, als auch mit der Axe der Konen zu prüfen und zu berichtigen gestattet.[1])

Eine andere Art des Prismenkreises hat in neuerer Zeit Wegener in Berlin ausgeführt. Er hat die zweifache Drehung der Prismen und des Fernrohrs, wie sie beim Steinheil'schen Instrumente möglich ist, wohl aus Gründen der Einfachheit und Stabilität der Axensysteme aufgegeben und das eine Prisma mit dem Limbus und dadurch mit dem Fernrohr in feste Verbindung gebracht. Es ist keine Frage, dass dadurch die Vielseitigkeit der Anwendung geschmälert worden ist. Fig. 784 stellt das Instrument schematisch und Fig. 785 auf einem Stativ in perspektivischer Ansicht dar.[2]) Die beiden Prismen U und O haben einen brechenden Winkel von 105^0 und die Längsfläche von 73 mm Länge ist um die Lichtstärke zu erhöhen versilbert. Das Fernrohr F F, welches eine etwa zehnfache Vergrösserung bei 18 mm Öffnung und 160 mm Brennweite gewährt, ist auf einem besonderen Arm R mit den Blendgläsern B B′ zugleich montirt, wodurch es möglich wird, die Alhidade A A′ einseitig durchzuschlagen, so dass man den Excentricitätsfehler zwischen Prismen und Theilung direkt eliminiren kann. Die Führung der Axe der Alhidade und des einen Prismas ist aus Fig. 786 anschaulich. Die Blendgläser können durch Drehung um eine vertikale Axe vertauscht werden.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Vollkreise, mag nun die Reflexion an Spiegeln oder in Prismen zu Stande kommen, den Sextanten, Oktanten und Quadranten erheblich überlegen sind, sobald es sich um die Genauigkeit der Messung handelt.

Die Vollkreise sind gewissermassen viel selbständigere Instrumente als

[1]) Vergl. dazu Hunaeus, Geometr. Instrumente, S. 519.

[2]) Zschr. f. Instrkde. 1883, S. 76 — Jordan l. c. S. 271 u. 273 — Patentschrift Klasse 42, Nr. 17554, August 1881.

die Sextanten u. s. w., da sie ohne weitere Hülfsmittel ihre Fehler zu bestimmen oder zu eliminiren gestatten, was bei den letzteren nicht der Fall ist. Es wäre sehr zu wünschen, wenn die neueren Konstruktionen der Vollkreise die ihnen gebührende Aufnahme auch in den nautischen Schulen und

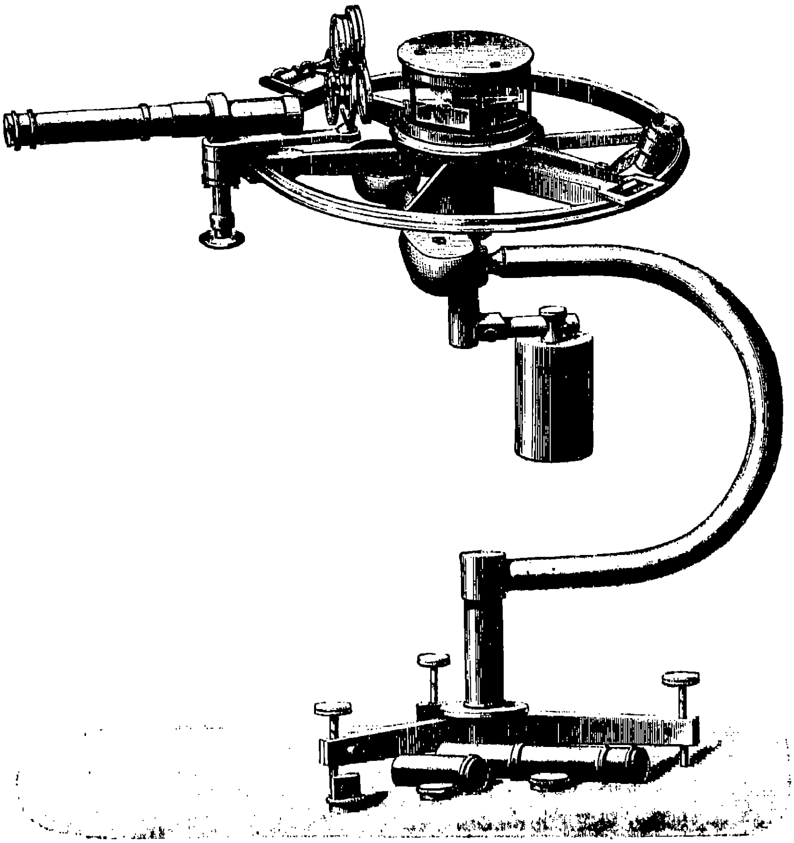


Fig. 785.
(Aus Jordan, Zeit- u. Ortsbestimmungen.)

auf den Schiffen fänden, zumal die leichte und doch sichere Bauart der jetzigen Vollkreise an Schwere den gebräuchlichen Sextanten mindestens gleichkommt. Es ist bei der Güte der jetzt ausgeführten Theilungen gewiss nicht

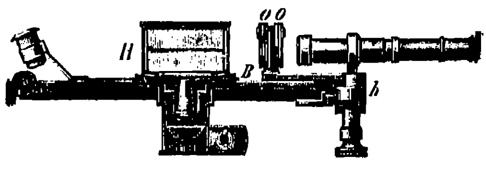


Fig. 786.

begründet, dem grösseren Radius der Limbustheilung bei Sextanten ein zu grosses Gewicht beizumessen, wenn man bedenkt, dass die Sicherheit der Messung viel mehr von der Qualität der Bilder und der Vergrösserung des Fernrohrs abhängt, als von der Kleinheit des Theilungsintervalls. Ja, ich

möchte sogar davor warnen mit diesem Intervall zu weit herunter zu gehen. Aus langjähriger Praxis an der Deutschen Seewarte kann ich behaupten, dass man mit einem Theilungsintervall von 20′ und bei Vernierangabe von 15″ oder 20″ und feinen und scharfen Theilstrichen ein mindestens ebenso gutes Resultat erzielen kann, als bei Angabe bis 10″ und weniger, wenn einer solchen Theilung nicht sehr scharfe Lupen beigegeben sind, welche aber wieder wegen des kleinen Gesichtsfeldes in der nautischen Praxis mit Recht sehr verrufen sind. Ein Hechelmann'scher Prismenkreis von 15—20 cm

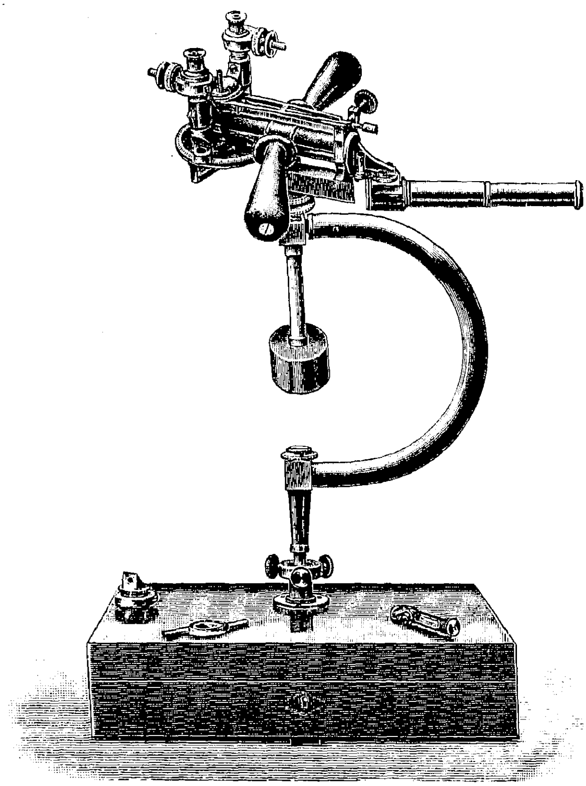


Fig. 787.

Durchmesser, mit 20′ Theilung, giebt bei sorgfältiger Messung und vier- bis sechsfacher Wiederholung (abgesehen von etwaigen anderen Fehlern) einen Winkel mittlerer Grösse bis auf 5″ genau, was gewiss für die meisten Zwecke ausreicht.[1])

d. Der Repsold'sche Reflektionskreis.

Auch Reflexionskreise mit mikrometrischer Ablesung sind gebaut worden. Fig. 787 stellt ein solches Instrument dar, wie es Repsold soweit mir bekannt namentlich für Russland ausgeführt hat.[2]) Die erste Bedingung für

[1]) Eine eingehendere Abwägung der Eigenthümlichkeiten beider Arten von Reflexionsinstrumenten würde mich hier zu weit führen, obgleich sie sich leicht an der Hand der theoretischen Formeln durchführen liesse. Ich verweise dieserhalb auf Jordan l. c. S. 274 ff. und auf die mehrfach citirte Studie von Eylert.

[2]) Die Abbildung stellt ein auf der deutschen Seewarte befindliches Exemplar dar.

die Zweckmässigkeit einer solchen Einrichtung ist natürlich die, dass die Gesammtausführung und namentlich die Güte der Theilung eine solche Verschärfung der Ablesungsgenauigkeit auch gerechtfertigt erscheinen lässt. Die veränderte Anlage der reflektirenden Theile und die eigentliche Verbindung des Fernrohrs mit dem Instrument lassen eine Erhöhung der optischen Qualitäten zu. Im Übrigen ist es aber angebracht, ein solches Instrument nur mit Stativ zu benutzen, was um so mehr erleichtert wird, da man wohl nur für geodätische Zwecke oder zur Messung von Monddistanzen an Land ein solches Instrument mit Vortheil anwenden wird.

3. Stative für Reflexionsinstrumente.

Wenn auch als ein Hauptvorzug der Reflexionsinstrumente angeführt worden ist, dass sie eine Winkelmessung aus freier Hand gestatten, so hat man doch mehrfach auch Stative für diese Instrumente gebaut, um ihre Handhabung für bestimmte Anwendungen noch bequemer und sicherer zu gestalten. Schon hier möchte ich aber bemerken, dass sich alle diese Stative nicht durch besondere Einfachheit und Handlichkeit auszeichnen, dass sie sich auch nur dann bewähren, wenn die Lagenänderung der Ebene, in welcher der zu messende Winkel liegt, nur langsam vor sich geht. Das trifft etwa zu bei Monddistanzen, Höhenmessungen in der Nähe des ersten Vertikals oder bei Horizontal-Winkelmessungen für geodätische Zwecke. Namentlich aber ist ein Stativ immer unbequem, wenn man Circummeridianhöhen oder dergl. misst, wo eine häufige Verschiebung des Instrumentes oder des künstlichen Horizontes nöthig wird, wodurch die Messungen nicht nur unsicher, sondern auch höchst umständlich werden. Ein geübter Beobachter wird zu seinen Messungen nie so lange Zeit brauchen oder er wird sie gewiss nicht so einrichten, dass ihm der Arm den Dienst versagt. Ich möchte also den Stativen nicht das Wort reden.[1])

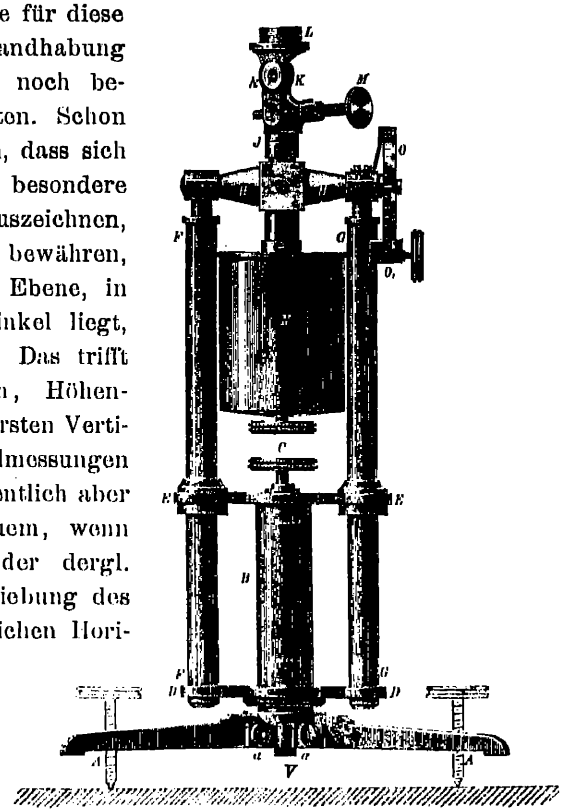


Fig. 788.
(Aus Jordan, Zeit- u. Ortsbestimmungen.)

[1]) Es kann gar nicht genug angerathen werden, bei Beginn der Beobachtungsthätigkeit als junger Astronom sich mit Reflexionsinstrumenten nach allen Richtungen eingehend zu üben, ihr zweckmässiger Gebrauch lehrt auf alle möglichen Dinge Acht geben, und das Urtheil und die Gewandtheit mächtig schärfen.

In Fig. 788 ist ein Stativ abgebildet, wie man dieselben früher zu bauen pflegte. Die allseitige Beweglichkeit wird hier durch die vier Axensysteme VC, HH, CL und durch ein solches mit Feinbewegung bei K hervorgebracht.

Den Fuss des Stativs bilden drei um Charniere aa bewegliche Arme AAA. Um zwei Konen der von dem Mittelstück der Arme ausgehenden Vertikalaxe lässt sich die cylindrische Büchse B drehen und durch die Klemmschraube unter C feststellen. Mit den Enden der Büchse sind zwei Platten DD, EE verbunden, an deren Enden cylindrische Säulen FF, GG fest-

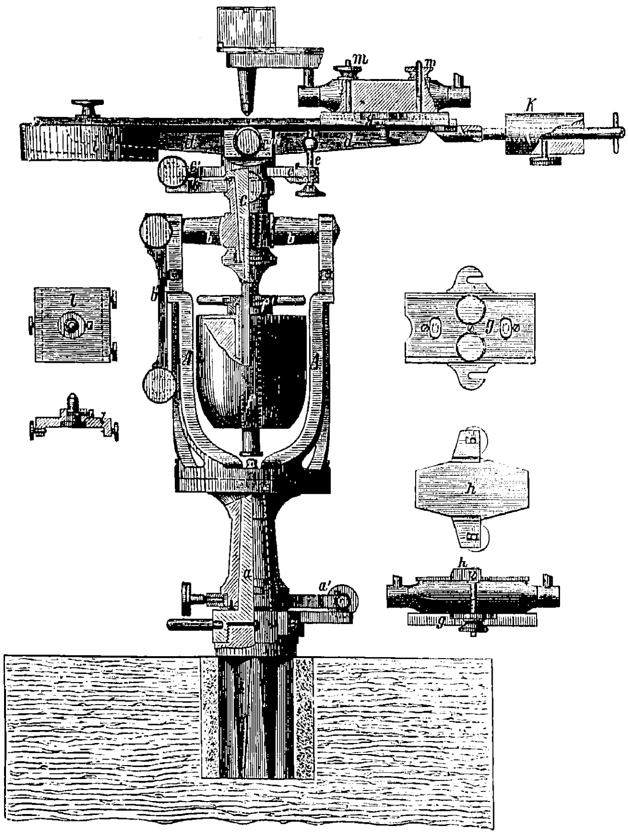


Fig. 789.
(Aus Loewenherz, Bericht.)

geschraubt sind, welche an ihren oberen Enden in cylindrischen Lagern die Zapfen einer Horizontalaxe HH aufnehmen. Der von dem Würfel der Umdrehungsaxe nach oben ausgehende Cylinder J erweitert sich zu einer schief gegen die Projektionsfläche stehenden starken Platte K, an deren oberem Ende sich ein Gelenk k befindet, dessen eine Backe den mit einem Schraubengewinde versehenen Hals L trägt, auf welchen das Reflexionsinstrument aufgeschraubt werden kann. Der an der entgegengesetzten Seite des Würfels angebrachte, mit Blei ausgegossene Cylinder N dient zur Balancirung des aufgeschraubten Instruments und zugleich zur Drehung der zu HH senkrechten Axe, welche den Kubus durchsetzt.

Als Beigabe dient noch der in ganze Grade eingetheilte Trommelkreis O, dessen Angabe an einem auf dem betreffenden Lagerdeckel angebrachten Index abgelesen werden kann. Durch denselben erlangt man leicht eine genäherte Kenntniss der Neigung der Sextantenebene gegen den Horizont. Die Klemme bei O′ dient zur Fixirung dieser Lage.

Eine neuere Form des Stativs zeigt die Fig. 785 (der Wegener'sche Prismenkreis). Dieselbe wird von Wanschaff, Wegener u. A. mit Vorliebe angewendet. Auf einem Dreifusse steht in der Mitte die Vertikalaxe, um welche sich auf einer Büchse ein stark gebauter Bogenarm dreht. Derselbe endigt in der Verlängerung der Vertikalaxe und trägt dort eine zweite Axe, welche im Horizont liegt. Mit dieser ist weiterhin ein drittes Axensystem verbunden, welches dem Reflexionsinstrumente eine Bewegung in seiner eigenen Ebene, d. h. um eine senkrecht zum Limbus gelegene Axe gestattet. Am einen Ende dieser Axe ist das Instrument aufgeschraubt und am anderen ist ein Gegengewicht derartig auf der Querstange verschiebbar angebracht, dass es einmal das Instrument balancirt, und sodann auch gleich als Handhabe bei der Drehung der ganzen Einrichtung um die verschiedenen Axen dienen kann.

Ein Stativ, wie es z. B. bei den Prüfungen der Sextanten auf der Seewarte nach den Angaben des Geh. Rath Neumayer angewendet wird, und welches eine besonders sichere Handhabung des Instruments gewähren soll, zeigt Fig. 789. Es wurde von Meissner gebaut und ähnelt in vielen Einzelheiten dem in Fig. 788 dargestellten Apparate, nur ist es mit einem besonderen Zapfen in eine schwere, eiserne Säule eingelassen worden. Die Bewegungen sind hier alle klemmbar und durch Mikrometerwerke fein einzustellen; im Übrigen dürfte die Figur alle Einzelheiten auch ohne nähere Beschreibung genügend erkennen lassen.

Sechzehntes Kapitel.

Universalinstrumente, Altazimuthe, Vertikalkreise und Zenithteleskope.

1. Transportable Universalinstrumente.

Mittelst der im vorigen Kapitel beschriebenen Instrumente lässt sich der Winkel zwischen zwei Gestirnen oder zwei terrestrischen Objekten direkt bestimmen, d. h. der Winkel, welchen die beiden Visirlinien am Auge des Beobachters mit einander einschliessen und der in der durch diese drei Punkte bestimmten Ebene liegt, oder wie man auch wohl sagt, der Winkel in dem durch beide Objekte gehenden „Grössten Kreise". Will man aber, was meistens der Fall ist, diesen Winkel nicht selbst haben, sondern denjenigen, welchen bestimmte Koordinatenebenen z. B. die beiden Vertikalebenen durch die beiden Punkte (Gestirne) mit einander machen (den Azimuthunterschied) kennen lernen, oder denjenigen, welchen die Visirlinie mit dem Horizonte macht, so müsste man den Winkel im Grössten Kreis erst durch besondere Rechnung, wie man zu sagen pflegt, auf den Horizont oder auf eine Vertikalebene reduciren. Das ist nun an sich keine schwierige Arbeit, erfordert aber noch verschiedene Hülfsmessungen oder Rechnungen. Man hat, weil es in der Astronomie sowohl als in der Geodäsie sehr häufig nur die auf den Horizont oder den Vertikalkreis reducirten Winkel sind, welche Interesse haben, besondere Instrumente konstruirt, deren Axen so gewählt sind, dass sie die erwähnte Reduktion gewissermassen dadurch selbst bewirken, dass eben nur Bewegungsgrössen, die durch Drehung um eine vertikale resp. eine horizontale Axe ausgeführt werden, an den mit diesen Axen verbundenen Kreisen gemessen werden (vergl. Einleitung, S. 5). Instrumente, bei denen die beiden Axen senkrecht resp. parallel zum Horizont sind, nennt man Theodolite resp. Universalinstrumente (auch wohl Altazimuthe). Es gehören dahin allerdings auch die sämmtlichen Durchgangsinstrumente (Passageninstrumente und Meridiankreise) diese werden aber in besonderen Kapiteln besprochen.

Ist das Instrument so eingerichtet, dass nur der Horizontalkreis genau getheilt und zu Winkelmessungen mit den nöthigen scharfen Ablesevorrichtungen versehen ist, so dass also nur Azimuthunterschiede mit Schärfe gemessen werden können, so nennt man das Instrument einen Theodoliten.[1])

[1]) Die Etymologie des Wortes Theodolit ist nicht ganz feststehend, am richtigsten dürfte vielleicht noch die in Dingler's polyt. Journal, Bd. 116, S. 166 gegebene sein.

Im Allgemeinen werden Theodolite nur bei geodätischen Aufnahmen Verwendung finden, wo sie zur Messung der Winkel in den Dreiecken (Polygonen) benutzt werden und diese gleich auf den Horizont des Beobachtungsortes reducirt liefern (wenn die eventuell nöthigen Instrumentalkorrektionen angebracht sind); bezüglich ihrer muss hier auf die ausführlichen Beschreibungen in den geodätischen Handbüchern verwiesen werden. Bei den eigentlichen Universalinstrumenten ist der Vertikalkreis mindestens ebenso sorgfältig ausgeführt als der Horizontalkreis, ja in manchen Fällen ist dem ersteren sogar das Übergewicht gegeben und man nennt demgemäss ein solches Instrument dann auch wohl direkt einen „Vertikalkreis". Dergleichen Instrumente werden nur zu Höhen- (Zenithdistanz-)messungen und bei Beobachtungen benutzt, für welche das Azimuth eine untergeordnete Rolle spielt. Der Horizontalkreis dient dann nur zur beiläufigen Einstellung resp. Aufsuchung des Objektes. Zunächst sollen die eigentlichen Universalinstrumente und sodann die Vertikalkreise und die dahin gehörigen Instrumente besprochen werden.

A. Allgemeines über die Einrichtung der Universalinstrumente.

Gegenwärtig baut man Universalinstrumente nur noch mit je einem einfachen Vertikal- und Horizontalaxensystem, während man früher nicht nur die Horizontalwinkelmessungen durch Repetition mit Hülfe doppelter Axensysteme ausführte, sondern auch für Vertikalwinkel vielfach Repetitionskreise angewandt hat. Namentlich Reichenbach und auch englische Mechaniker bauten solche Instrumente. Die Untersuchungen Bessel's, Struve's und anderer Astronomen und Geodäten haben aber gezeigt, dass das, was man durch die Repetition gewinnt, namentlich nur dann von Vortheil ist, wenn die Ungenauigkeiten der Theilungen beträchtlich sind, dass man durch die komplicirtere Bauart der Instrumente und selbst durch die Methode der Messung leicht Fehlerquellen schafft, die unter Umständen schwer zu erkennen und noch schwerer zu beseitigen sind. Man hat daher an die Stelle der Repetition der Winkelmessung die mehrfache direkte Messung[1]) gesetzt, und dieses veränderte Verfahren hat sich durchaus bewährt. Das hat zur Folge gehabt, dass man auch im Bau der grösseren Theodolite und Universalinstrumente zu dem einfachen Axensystem zurückgekehrt ist.

Über die Einrichtung der Axen, das Fernrohr und die Kreise solcher Instrumente ist schon in den entsprechenden Kapiteln das Nöthige gesagt, so dass hier nur ihre Verbindung mit einander im Einzelnen erläutert zu werden braucht.

Das Fernrohr kann mit der Horizontalaxe in verschiedener Weise verbunden sein. Es kann in der Mitte zwischen den beiden Lagern die Axe durchschneidend, oder an einem Ende derselben angebracht sein. Im ersten Falle spricht man von einem centrischen, im letzteren von einem excentrischen Fernrohre. Es kann auch das Fernrohr ein gebrochenes sein, d. h. die Okularhälfte in der Axe liegen, während diese sich in der Mitte zu einem

[1]) Die Richtungsmessung statt der Winkelmessung.

Kubus oder zu einem cylinderähnlichen Theile erweitert, in welchem ein total reflektirendes, rechtwinkliges Prisma liegt. An diesem Theile setzt sich dann senkrecht zur Axe die Objektivhälfte des Fernrohrs an. Diese Anordnung ist in neuer Zeit, nachdem man dem Prisma eine sichere Lagerung zu geben versteht, sehr häufig in Verwendung gekommen; sie entspricht dem Typus mit centrischem Fernrohr, hat aber den Vorzug, dass das Auge des Beobachters für jede Zenithdistanz in derselben bequemen Lage verbleiben kann, während bei Anwendung eines geraden Fernrohrs, welches allerdings immerhin in der Einfachheit der Konstruktion eine etwas grössere Sicherheit bezüglich der Konstanz der Kollimationslinie hat, bei geringeren Zenithdistanzen meist Unbequemlichkeiten auftreten oder man eben auch von einem Reflexionsprisma am Okular Gebrauch machen muss.

Eine an Universalinstrumente unbedingt zu stellende Forderung ist die, dass sich entweder die Horizontalaxe in ihrer Lage umlegen, oder dass sich das Fernrohr wenigstens durchschlagen lässt; wenn möglich sollen beide Forderungen erfüllt sein. Bei Verwendung gerader Fernrohre ist dieses aber mit Vortheil nur bei der excentrischen Lage derselben möglich, weil sonst die Lagerböcke so hoch gehalten sein müssen, dass dadurch die Stabilität des ganzen Obertheiles erheblich gefährdet wird. Dieser Umstand hat namentlich viel zur Einführung des gebrochenen Fernrohrs beigetragen. Da bei Anwendung eines gebrochenen Fernrohrs ein direktes Visiren nach dem Gestirn nicht stattfindet, so bringt man häufig auf dem Objektivtheil desselben ein besonderes Diopter an. Die Stellung dieser Diopter lässt sich leicht an einem entfernten terrestrischen Gegenstande oder auch am Polarstern berichtigen, wenn die nöthigen Korrektionsschrauben vorhanden sind; meist ist das Diopter aber mit dem Fernrohr ein für allemal fest verbunden und die Absehenslinie ist schon vom Mechaniker mit genügender Genauigkeit der des Fernrohres parallel gemacht.[1])

Als Fadennetz findet man meist eine geringe Anzahl — etwa 5 oder 6 Vertikalfäden und 2 resp. 4 Horizontalfäden — angefügt, von denen dann die zwei mittleren Horizontal- und Vertikalfäden, wenn letztere in gerader Anzahl vorhanden sind, ein kleines Quadrat bilden (Fig. 410, S. 483), in dessen Mitte die beobachteten Objekte, wenn sie ruhend oder nahezu ruhend (Polarstern) sind, eingestellt werden. Sollen die Zenithdistanzen oder Azimuthe von Gestirnen beobachtet werden, deren scheinbare Bewegung eine schnelle ist, so thut man meist besser, diejenigen Zeitmomente an der Uhr zu beobachten, in denen bei unveränderter Instrumentstellung das Gestirn die Horizontal- resp. Vertikalfäden passirt. Das hat verschiedene Vortheile, namentlich den, dass das Instrument im Momente der Beobachtung in voller Ruhe ist, und dass man einen solchen „Durchgang" weit ruhigeren Sinnes beobachtet als eine Einstellung. Die Genauigkeit einer Beobachtung kann in diesem Falle auch leicht durch die Notirung der Durchgänge durch die noch vorhandenen weiteren Fäden erhöht werden, wobei allerdings nicht zu vergessen ist, dass das Resultat dann doch nur auf einer Kreis-

[1]) Prüfung ist aber stets anzurathen.

ablesung beruht. Das gilt natürlich für Horizontal- und Vertikalwinkel gleichmässig.

Für eine geeignete Beleuchtung des Fadennetzes muss bei allen Universalinstrumenten, die zu astronomischen Beobachtungen verwendet werden sollen, Sorge getragen sein. Bei den geringen Dimensionen, welche namentlich bei Reiseinstrumenten dem Fernrohr gegeben werden müssen, können im Innern derselben nicht gut Beleuchtungsspiegel angebracht werden; man verwendet deshalb hier die Blende vor dem Objektive, Fig. 415—418, oder noch besser das von O. Fennel in Kassel angewandte Prisma, Fig. 426, welches die Fernrohrwand durchsetzt und im Innern an einer schiefen Fläche durch totale Reflexion das in der Richtung ip einfallende Licht in das Gesichtsfeld reflektirt.[1]) Ist das Fernrohr ein gebrochenes, so kann man durch die Axenhälfte, welche dann ebenfalls hohl gehalten sein muss, das Licht einfallen lassen, Fig. 420. In der Fig. 790 ist die ältere Befestigungs-

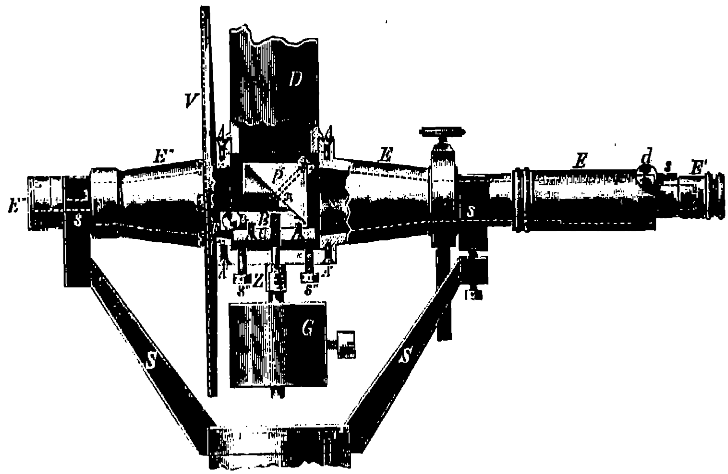


Fig. 790.
(Nach Hunaeus, Geometr. Instrumente.)

weise des Reflexionsprismas dargestellt, es ruht dasselbe hier mittelst des Stuhles B auf einer besonderen Platte C; diese Platte ist durch die Schrauben s″ s″ und Z regulirbar, sowie auch durch die Schraube δ um die Axe des Objektivtheiles ein wenig drehbar, auf der Rückplatte des Kubus befestigt. Das Prisma ist somit nur durch diese Platte und die Schrauben A′ A′ mit den übrigen Instrumententheilen verbunden.

Die neuere Art der Befestigung am Ende des Objektivrohrs ist in Fig. 420 auf S. 394 dargestellt. Letztere Anordnung verdient wegen der sicheren Verbindungen mit dem Fernrohrtheile gewiss den Vorzug. Nur bei den grösseren Universalinstrumenten, welche gelegentlich auch wohl zu Durchgangsbeobachtungen auf Stationen oder genauen Azimuthmessungen dienen sollen,

[1]) Für kleinere Universalinstrumente eignet sich auch die Abbe'sche Methode zur Erzielung einer Fadenbeleuchtung ganz besonders. Es wäre wünschenswerth, wenn sie durch Beigabe des nöthigen Diaphragmas allgemein in Anwendung gelangte.

findet man einen beweglichen Vertikalfaden, der dann durch eine Mikrometerschraube messbar verstellt werden kann, so dass dadurch ein einfaches Mikrometer gebildet wird. In manchen Fällen lässt sich dann auch der Okularauszug um 90⁰ drehen, so dass der bewegliche Faden sowohl im horizontalen als auch im vertikalen Sinne benutzt werden kann. Eine besondere Veranlassung, den Okularauszug so einzurichten, gab in den letzten Jahren die häufige Anwendung der sogenannten Horrebow-Talkott'schen Methode der Breitenbestimmung, zu welcher auch wohl grössere Universalinstrumente mit Vortheil angewendet werden können, wenn die Niveauein-

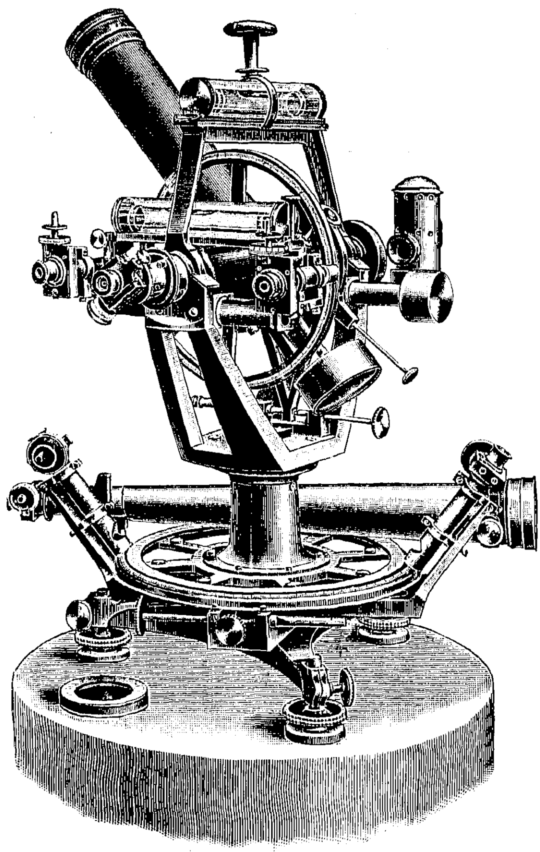


Fig. 791.

richtung der Mikroskopträger für den Vertikalkreis darnach eingerichtet wird. Es kann das sehr leicht dadurch geschehen, dass durch besondere Klemme entweder ein direkt zu diesem Zwecke beigegebenes Niveau, welches vermittelst einer Büchse auf der Horizontalaxe sitzt, oder die Büchse des Mikroskopträgers selbst, welcher dann auch zugleich dieses Niveau trägt, mit der Axe fest verbunden werden kann, wodurch nach Umlegen der Axe in den Lagern der Absehenslinie des Fernrohrs sehr nahe dieselbe Zenithdistanz wieder gegeben werden kann, wie es bei dieser Methode nöthig ist.[1])

[1]) Weiteres über diese Einrichtung wird bei der Besprechung der Zenithteleskope und der transportablen Durchgangsinstrumente beigebracht werden.

Die Befestigung der Kreise auf ihren Axen und der zu ihrer Ablesung dienenden Einrichtungen (Verniers oder Mikroskope) ist für die Güte und Brauchbarkeit des Instruments von der grössten Wichtigkeit. Die Kreise sollen am besten möglichst nahe dem Fernrohr liegen, so dass eine Torsion der Axe zwischen beiden Theilen nicht stattfinden kann. Praktisch ist diese Forderung nur sehr selten ausgeführt, weil andere Umstände auch wieder einen symmetrischen Bau des Instrumentes fordern. Ist das Fernrohr excentrisch gelegen, so empfiehlt es sich (was die Ablesemikroskope meist ohnehin

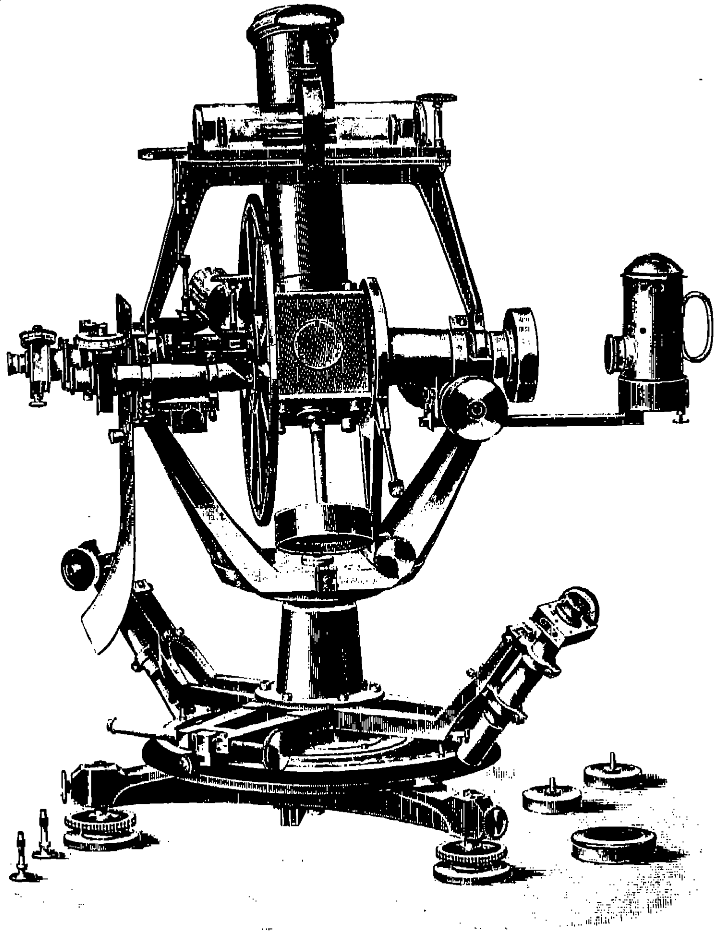


Fig. 702.

bedingen), den Vertikalkreis in die Mitte der Axe über das Centrum des Instruments zu legen; ist das Fernrohr centrisch oder ist es ein gebrochenes, so soll der Kreis am besten direkt neben Fernrohr oder Kubus gelegt werden. Nur bei sehr starkem Bau der Horizontalaxe wird man den fein getheilten (den zum Messen dienenden) Kreis an dem dem Fernrohr entgegengesetzten Ende der Axe vorfinden.

Die Kreise sollen mit ihren Axen so verbunden sein, dass sie sich auf denselben um bestimmte Winkel zur Elimination der Theilungsfehler

drehen lassen (sie sollen nur durch Reibung festsitzen), oder dass sie sich wenigstens nach Herausnahme der sie mit der betreffenden Flansche verbindenden Schrauben (3, 4 oder 6) umsetzen lassen. Das bedingt, soll jede Klemmung und Spannung vermieden werden, eine längliche oder etwas erweiterte Form der Durchbohrungen im Kreis, was überhaupt anzurathen ist, um beim Festschrauben Spannungen zu vermeiden. Hat man dann einen Satz oder eine bestimmte Anzahl von Messungen in einer Stellung der Kreise gemacht, so wird man diese um 30, 60, oder 90^0 drehen und sodann eine neue Reihe beginnen. Bei einigen Universalen von Pistor und Martins, Bamberg, Breithaupt und Repsold, namentlich älterer Form, ist der Horizontalkreis fest mit dem Untergestell des Instruments verbunden; in diesem Fall muss man dann das ganze Instrument zu dem angegebenen Zwecke um die betreffenden Winkel drehen, was natürlich wegen der erforderlichen neuen Horizontirung umständlich ist.

Für die Ablesung der Horizontalkreise hat man entweder auf der Vertikalaxe einen Ring mit den Vernier- oder Mikroskopträgern, oder diese sind besser noch durch starke Arme mit dem um die Vertikalaxe drehbaren ganzen Obertheil des Instruments verbunden, wenn der Kreis während einer Beobachtungsreihe fest liegt; selten sind die Mikroskope mit dem Untergestell verbunden, während sich der Kreis in fester Verbindung mit der Büchse des Obertheiles befindet. Neuerdings werden sie vielfach an einem besonderen einer Alhidade ähnlichen Arme befestigt, welcher sich unabhängig von dem Oberbau und dem Kreis an der Vertikalaxe festklemmen lässt. Eine solche Einrichtung zeigt z. B. das in Fig. 791 abgebildete Repsold'sche Universalinstrument, welches auch durch einige andere Einrichtungen bemerkenswerth ist. Mit den beiden Mikroskopen für den Horizontalkreis ist hier auch noch ein Versicherungsfernrohr unmittelbar verbunden.

Es ist für die Anordnung beider Theile meist der vorhandene Raum, welchen der Beobachter zum Ablesen der Theilung durch die Mikroskope braucht, maassgebend.

Die Stellung der Mikroskopträger zu den Lagerböcken für die Horizontalaxe ist aus diesem Grunde auch eine verschiedene. Entweder sind die Mikroskopträger direkt mit denselben verbunden, d. h. sie liegen in einer Ebene mit der Horizontalaxe, wie es die Fig. 793 u. 821 zeigen, oder sie sind an Armen befestigt, welche in einer zu dieser Axe senkrechten Ebene liegen, wie es meistens der Fall ist. Auch Zwischenstellungen kommen vor, wenn sowohl die central angeordneten Kreise, als auch die Lagerböcke bei der Ablesung hinderlich sein würden, vergl. Fig. 792. Manche Mechaniker haben auch die Ablesemikroskope mit Okularprismen versehen oder ein gebrochenes Okular angebracht, damit der Beobachter bequem in dieselben hineinsehen kann, Fig. 793.[1]) Im Allgemeinen wird auch hier der einfachsten Konstruktion der Vorzug zu geben sein, selbst wenn dadurch etwas an Bequemlichkeit geopfert wird. Daher möchte ich, wenn nicht die kleine Form des Instruments oder andere Konstruktionsgründe zwingend sind, namentlich der letzten Ein-

[1]) Fig. 163, S. 143 zeigt diese Einrichtung bei Mikroskopen des Vertikalkreises.

richtung des Mikroskops nicht das Wort reden, weil da in den Strahlengang selbst ein an sich unnöthiger und komplicirender Theil eingeführt wird.

Wesentlich wichtiger als die Einrichtung der Horizontalkreise und der zugehörigen Mikroskope ist bei den hier der Betrachtung zu unterziehenden Instrumenten diejenige des Vertikalkreises und seiner Mikroskope.

Gewöhnlich findet man den Kreis, wie schon erwähnt, in der Mitte der Axe oder an dem dem Fernrohr entgegengesetzten Ende derselben. In

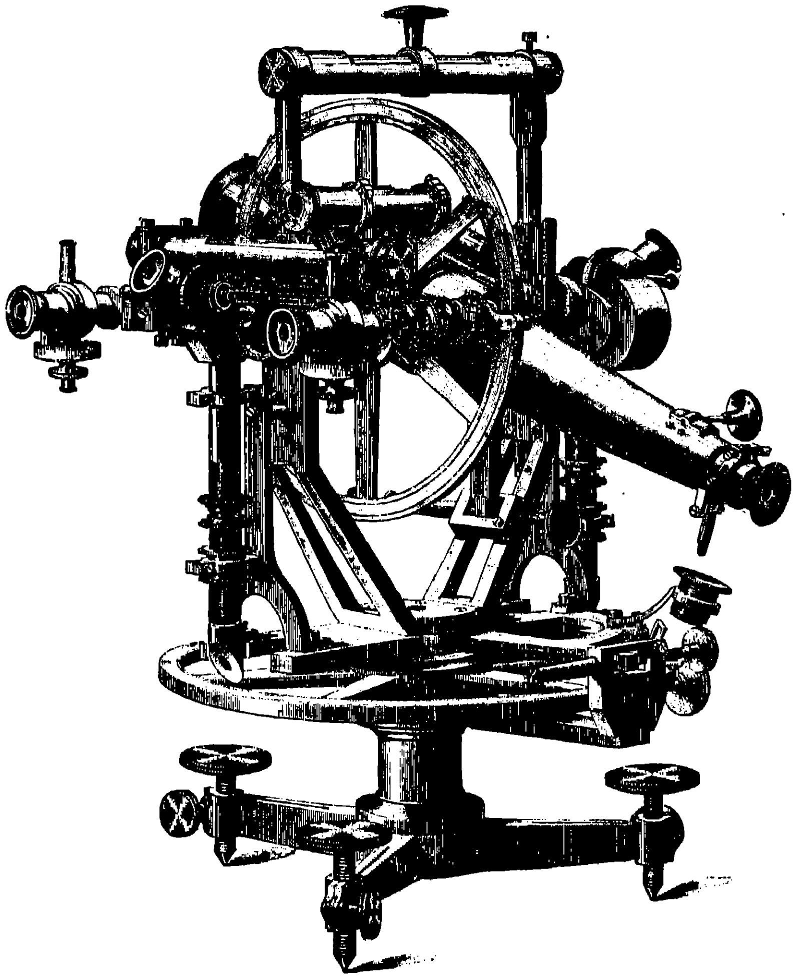


Fig. 793.

manchen Fällen sind auch zwei Kreise vorhanden, von denen einer häufig viel kleiner ist und nur eine grobe Eintheilung mit leicht erkennbarer Bezifferung hat, die mittelst eines Verniers oder einfachen Index die Einstellung erleichtert, während der grössere fein getheilte Kreis für die Mikroskopablesung dient, wie z. B. in Fig. 794. Es wird jetzt wohl nur noch selten vorkommen, dass der Hauptkreis an seiner Peripherie auch zugleich zur Klemmung und Feinbewegung benutzt wird, wie es früher wohl ab und zu der Fall war.

Bei dem in Fig. 795 abgebildeten Repsold'schen Instrument ist auch der Kreis K' nur zu diesem Zwecke und wegen der völligen Symmetrie des Obertheiles vorhanden, er trägt nur eine grobe Theilung, welche mittelst einer Lupe abgelesen werden kann. Die Ablesemikroskope sitzen meist an einem Rahmen, Fig. 163 u. 164, oder an den Enden zweier durch eine Büchse verbundenen diametralen Arme, was besonders bei älteren Instrumenten der Fall ist.

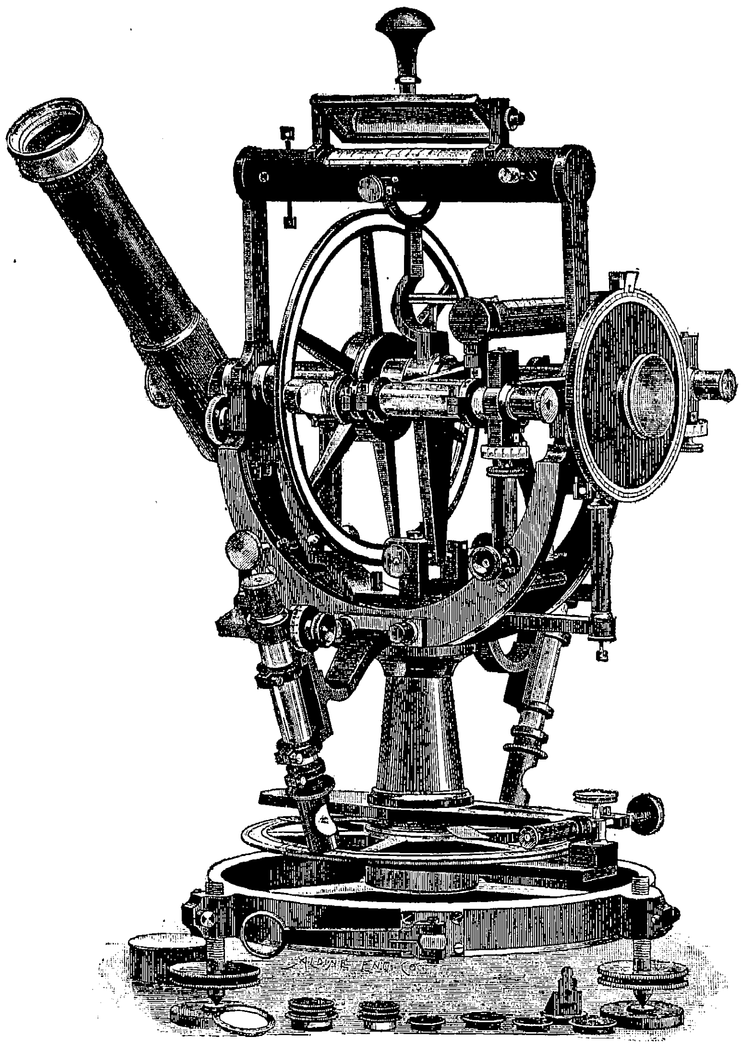


Fig. 794.

Diese Büchse (im Falle eines ganzen Rahmens beide Büchsen) passen dann genau auf entsprechende Abdrehungen der Axe. Die Horizontirung dieser Trägereinrichtung wird durch ein Niveau, welches gewöhnlich in fester, aber justirbarer Verbindung mit dem Mikroskopträger steht, ausgeführt, während ein besonderer Ansatz die Stellung der Mikroskope dadurch sichert, dass er zwischen zwei Schrauben, die zwischen mit dem Lagerbocke verbundene An-

sätze hindurch gehen, hineinreicht und von diesen gehalten wird.[1]) Es ist bei grösseren Instrumenten durchaus zu empfehlen, dass nicht die eine dieser Schrauben durch einen Federbolzen ersetzt ist, was wohl beim Umlegen bequem, aber für die Sicherheit der Messung von Nachtheil sein kann.

Wenn auch diese Art der Befestigung der Mikroskope manche Vortheile bietet, namentlich die Umlegung der Horizontalaxe in ihren Lagern gestattet, so ist doch nicht zu verkennen, dass die Schwierigkeit des Aufpassens der Büchsen des Mikroskopträgers auf die Axe erheblich ist und, dass sehr leicht durch einen kleinen Spielraum in diesen Führungen Fehler in den Zenith-

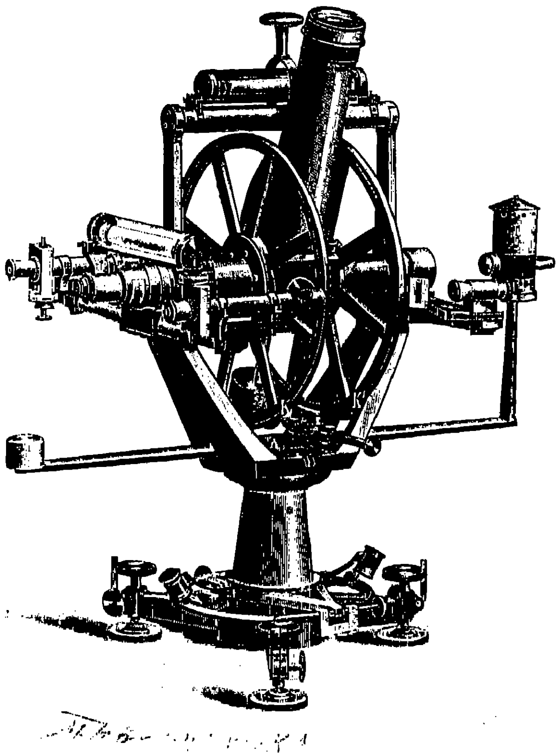


Fig. 795.

distanzen hervorgebracht werden können,[2]) oder dass andererseits, namentlich wenn verschiedene Metalle, z. B. Stahl für die Axe und Rothguss für die Büchsen, verwendet werden, bei Temperaturänderungen ein Festklemmen oder eine Spannung eintreten kann.

Da diejenigen Fehler, welche durch Umlegen der Axe in ihren Lagern eliminirt werden sollen — eigentlich ist es nur der der Zapfenungleichheit —

[1]) Das in Fig. 796 abgebildete Instrument ist seiner Zeit von G. & A. Repsold gebaut und stellt den Typus der von Gauss und Schumacher 1844 benutzten Universale dar. Nach einer gütigen Mittheilung der Herren Repsold wurde das erste derartige Instrument 1840 für Encke geliefert; es wurde das Vorbild fast aller späteren Konstruktionen.

[2]) Auch die Ablesung an zwei Mikroskopen schützt dann nicht vor Fehlern, da dadurch nur eine Excentricität völlig eliminirt wird, die konstant bleibt.

ebenso gut durch Durchschlagen und Drehung um 180° um die Vertikalaxe unschädlich gemacht werden können, so werden in neuerer Zeit meist Instrumente gebaut, welche diesem Umstande Rechnung tragen und das Princip der Isolirung der Mikroskope und ihrer Träger von der Drehungsaxe auch auf die Universalinstrumente übertragen, wie man es für feststehende Instrumente (Meridiankreise u. s. w.) schon längst als das Richtige erkannt hat. Es sind bei diesen Instrumenten ohne Rücksicht auf leichte Umlegbarkeit

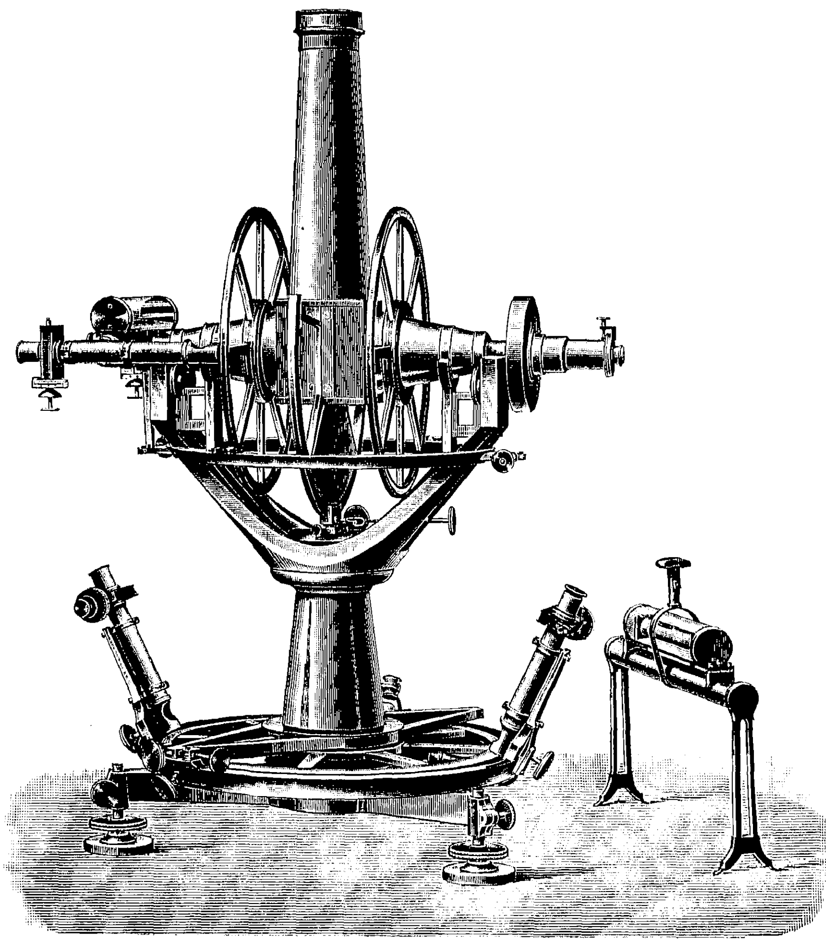


Fig. 796.

die Mikroskope direkt an den Lagerböcken für die Horizontalaxe befestigt, wie das z. B. die Fig. 791, 792, 795 erkennen lassen. Um die Symmetrie zu wahren und die Massen bezüglich der Vertikalaxen gleichmässig zu vertheilen, sind an dem anderen Lagerbock meist entsprechende Arme mit Gegengewichten angebracht. An die Stelle der letzteren könnten unter Umständen bei einer zweiten Beobachtungsserie die Mikroskope treten, nachdem der Obertheil des Instruments in die andere Lage gebracht worden ist. Es ist in diesen Fällen überhaupt das Hauptgewicht auf die Messung der Vertikal-

winkel gelegt, wie es auch dem Gebrauch dieser Instrumente zu astronomischen Zwecken entspricht. Die Horizontirung der Mikroskope resp. die Prüfung ihrer Unveränderlichkeit ist wiederum durch ein aufgesetztes Niveau möglich.

B. Specielle Beschreibung einzelner Instrumente.

An die Besprechung der allgemeinen Konstruktionsprincipien, die aber durchaus nicht als erschöpfend betrachtet werden können, mag sich nun die

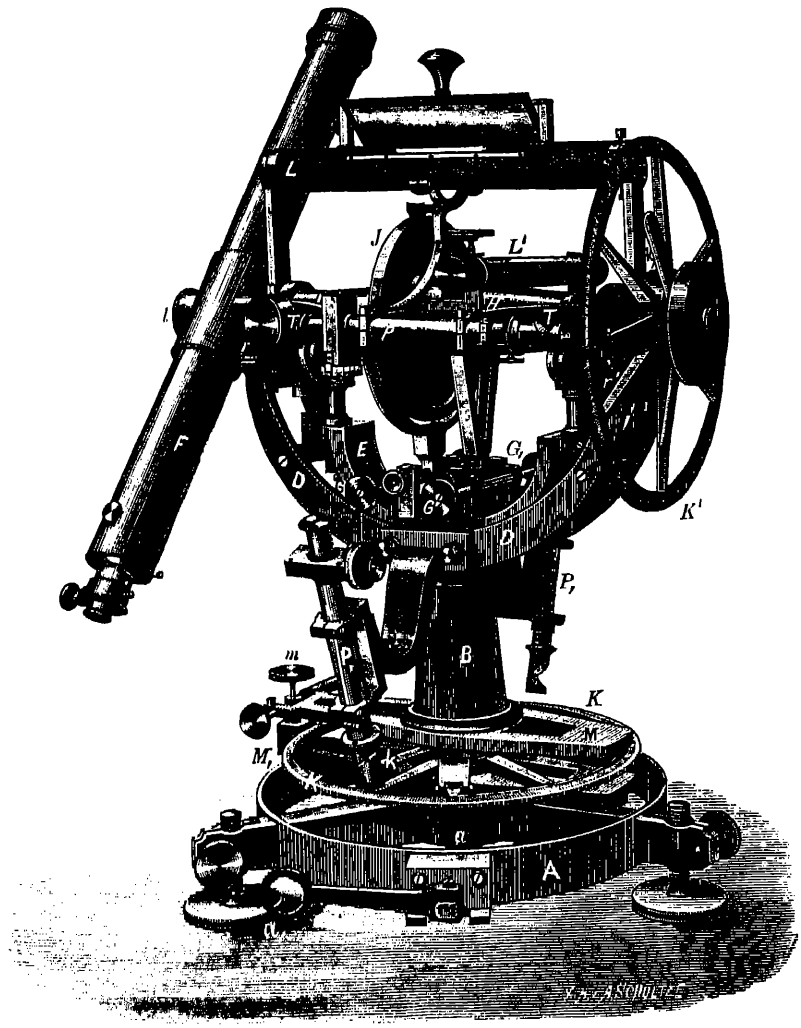


Fig. 797.

Darstellung einzelner Typen dieser Instrumente anschliessen, bei welcher Gelegenheit sich noch verschiedene Einzelheiten werden erörtern lassen.

Eine gute Anschauung von dem Bau der grösseren Instrumente dieser Art giebt das in der Fig. 797 dargestellte Universalinstrument von Bamberg, welches im Wesentlichen noch den Typus der Pistor und Martin'schen Instrumente vertritt. Fig. 798 ist ein Durchschnitt des Instruments, während die Fig. 163 Einzelheiten der Vertikalkreismikroskope darstellt.

Das excentrische Fernrohr F hat eine Öffnung von 47 mm bei 540 mm Brennweite, es ist mit einem Okularschlitten und einer Mikrometereinrichtung mit einfachem Vertikalfaden versehen. Die Kreise haben 27 cm Durchmesser; sie sind von 5 zu 5 Minuten getheilt und mittelst der Mikroskope P und P, P, bis auf ganze Sekunden direkt ablesbar.

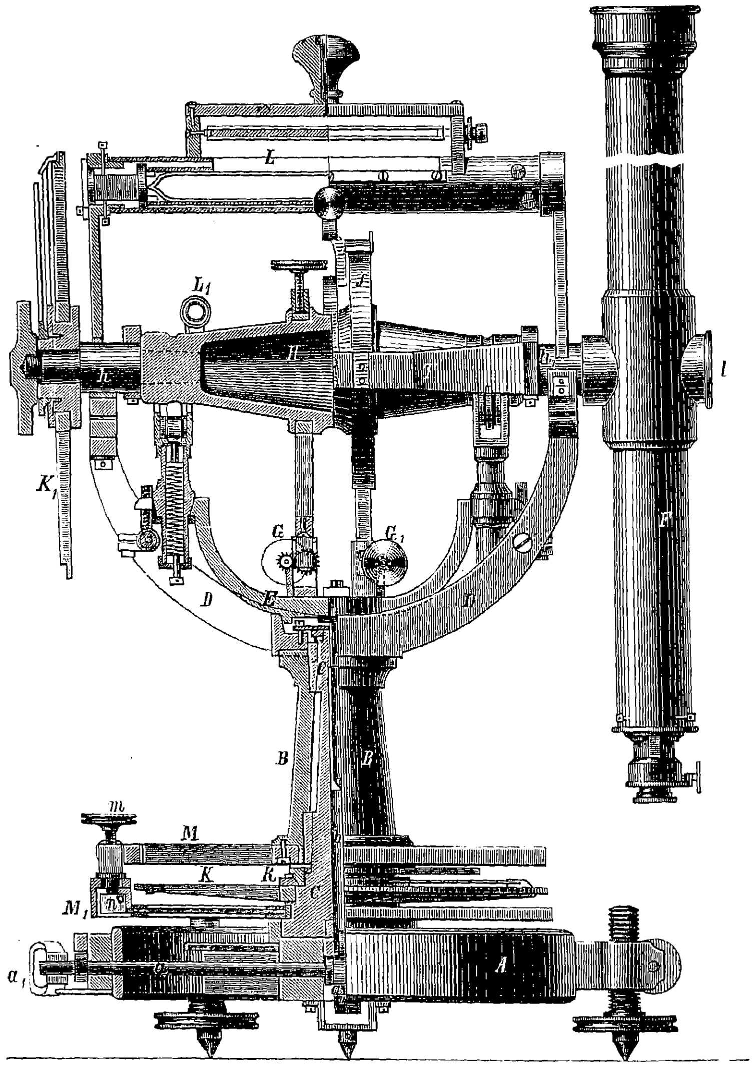


Fig. 798.
(Aus Loewenherz, Bericht.)

Das ganze Instrument ruht auf einem starken Dreifuss, dessen Füsse noch durch einen starken Ring A verbunden sind, welcher gleichzeitig zum Anfassen des ganzen Instruments und zum Schutze des Horizontalkreises K dient, und ausserdem im Bedarfsfalle auch zur Befestigung eines Versicherungsfernrohres benutzt werden kann.

Der Zweck eines solchen zweiten Fernrohrs ist der, die unveränderte

Stellung des ganzen Instruments während einer Beobachtungsreihe dadurch prüfen zu können, dass man vor Beginn derselben dieses Fernrohr auf ein entferntes, festes Objekt richtet und sich von Zeit zu Zeit überzeugt, ob dasselbe noch genau eingestellt erscheint.

In der Mitte des Dreifusses ist die Vertikalaxe C festgeschraubt; dieselbe hat verschiedene centrische Abdrehungen, auf deren unterster die Radialklemme M_1 aufliegt, welche in Verbindung mit dem die Feinbewegung vermittelnden Ringe M steht, der auf der obersten Abdrehung ruht. Die Klemmung wird durch die Schraube m in der Weise bewirkt, dass diese auf ein Hebelwerk n drückt und dieses wiederum eine Bremsstange gegen die Axe C presst. Auf der mittleren Abdrehung ist der Horizontalkreis K aufgesetzt und darauf sicher drehbar; die Klemmung wird durch eine Ringklemme k von der auf S. 476 besprochenen Form bewirkt. Die Führungsflächen zwischen Büchse B und der Vertikalaxe gehören ein und demselben Kegelmantel von schwachem erzeugendem Winkel an, sie sind auf die Axe aus nahezu glasхartem Stahl als besondere Ringe aufgesprengt. Da bei dem bedeutenden Gewichte des mit der Büchse verbundenen Obertheiles, dieser sich leicht festklemmen kann, so wird er durch eine über der Büchse befestigte dünne Stahlplatte, die in ihrem centralen Theile auf der oberen Abdrehung der Vertikalaxe ruht, gestützt; vergl. S. 299.

Am oberen Theile der Büchse sind die doppelten Lagerarme D D aufgeschraubt, welche an ihren oberen Enden die winkelförmigen Lageraufsätze r und r′ für die Horizontalaxe tragen. Die Justirung erfolgt durch entsprechende Zug- und Druckschrauben. An den Bogenstücken D D sind auch die Mikroskope P′ P′ für den Horizontalkreis in der schon früher beschriebenen Weise für Gang und Bildschärfe justirbar befestigt. Dieselben sind hier schief gestellt, während die Limbusfläche des Kreises horizontal liegt. Es ist diese Anordnung, obgleich dabei manche Reflexe, die durch die Beleuchtung hervorgebracht werden, vermieden sind, im Allgemeinen doch nicht zu empfehlen, weil die Deutlichkeit der Theilstriche zu sehr durch diese Anordnung leidet. Die Einrichtung der Mikrometer entspricht fast genau der in Fig. 152 dargestellten. Die Schraubentrommel ist in 60 Theile getheilt und da $2^1/_2$ Revolutionen der Schraube auf das Theilungsintervall gehen, so wird man bei der Bezifferung der Trommel, die zwei Mal von 0 bis 30 geht, durch Addition der Ablesungen an beiden Mikroskopen sogleich die Winkelangabe in ganzen Sekunden erhalten. Zur leichteren Einstellung tragen beide Kreise noch eine zweite gröbere Theilung, welche sich am Vertikalkreis auf der äusseren Seite befindet, und welche in beiden Fällen durch einfache Verniers ablesbar ist. Ausserdem sollen diese Theilungen noch dazu dienen, die Kreise nach den einzelnen Beobachtungssätzen um bestimmte aliquote Theile des Umfanges zu drehen und so die Winkelmessungen auf verschiedene Stellen des Umfangs zu vertheilen. Die Horizontalaxe besteht aus einem doppelkonischen, theilweise hohlen Rothgusskörper, in dessen Enden die beiden nahezu glasharten, gleich starken Stahlcylinder h und h_1 als Zapfen eingelassen sind. An dem äusseren Ende von h_1 ist das Fernrohr F, an dem von h der Kreis K_1 angesetzt. Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes

geschieht durch die Öffnung bei l, der gegenüber im Fernrohr eine unter 45° geneigte, oval ausgeschnittene, weisse Blende gelegen ist; die Öffnung l ist durch eine matte Glasplatte verschlossen, um die Beleuchtung gleichmässig zu machen. Die Anordnung der Vertikalkreise auf einen besonderen Zapfen ist dieselbe wie beim Horizontalkreis. Die zur Ablesung dieses Kreises dienenden Mikroskope, an deren Okularen zum bequemen Hineinsehen rechtwinklige Prismen angebracht sind, sitzen an einem besonders eingerichteten

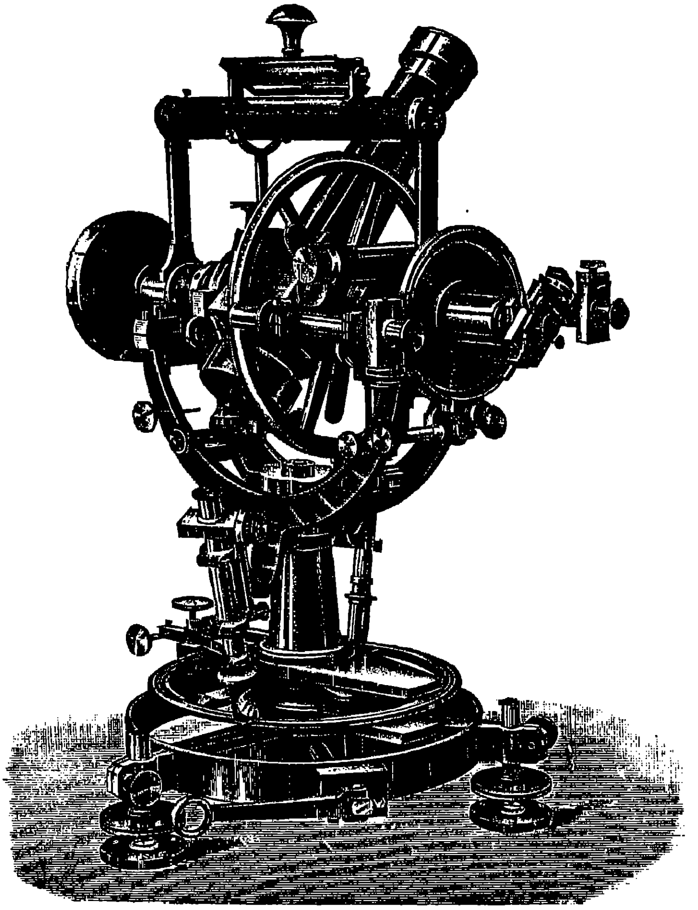


Fig. 799.

Rahmen T, welcher die Horizontalaxe an zwei Stellen in Büchsen umschliesst. Die speciellere Einrichtung zeigt die Fig. 163, deren einzelne Theile schon auf S. 144 des Näheren erläutert worden sind.

Die Libelle L, Fig. 797, für die Horizontalaxe ruht auf dem Axencylinder an denselben Querschnitten auf, mit welchen diese auch in den Lagern liegen; sie wird durch eine Gabel mit zwei Schrauben gehalten und kann beim Umlegen in ihrer Stellung verbleiben.

Das Umlegen geschieht mittelst des Hebels a_1, welcher die Welle a um 180° zu drehen gestattet, die an ihrem anderen, unter der Mitte des In-

struments befindlichen Ende das Excenter $a_{,,}$ trägt. In der centrischen Durchbohrung der Vertikalaxe C befindet sich ein verschiebbarer, gegen Drehung gesicherter Cylinder b, der am unteren Ende mit einer Friktionsrolle auf dem Excenter aufliegt, oben aber eine centrische, konische Vertiefung besitzt. Ein mit der Brücke E verbundener Stahlcylinder hat in der Axe C sorgfältige Führung und tritt mit seiner nach unten endenden Spitze in die konische Höhlung des Cylinders b, sobald diesen das Excenter anhebt. Die Brücke E passt mit einem kurzen, konischen Ansatz in eine entsprechende konische Vertiefung des Bogenstücks D, und trägt ferner zwei hohle Säulen mit Aushebewiegen, welche unter die Axe H fassen. Zwischen den Wiegen sind Scheeren mit Friktionsrollen, welche mit korrigirbaren, in den Säulen befindlichen Federn gegen die Axe gedrückt werden und sowohl einen Theil

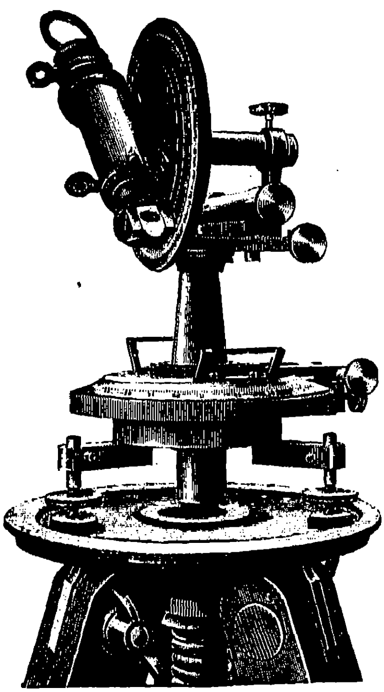


Fig. 800.

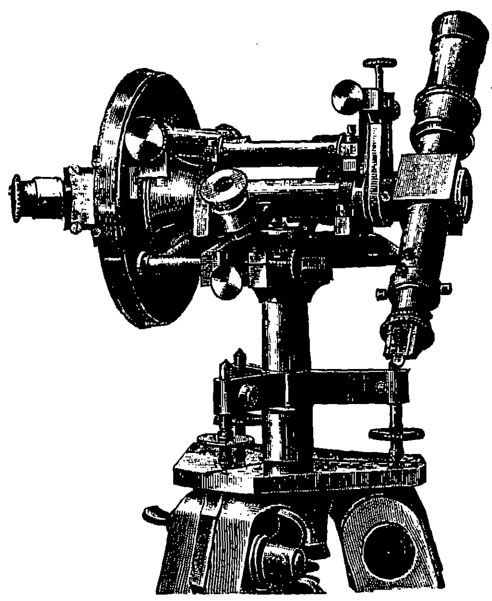


Fig. 801.

des Gewichtes des Horizontalaxensystems aufnehmen, als auch der Durchbiegung desselben entgegenwirken.

Auf der Aushebebrücke E befinden sich noch die Mikrometerwerke G und G_1 für die Axenklemme und den Rahmen des Mikroskopträgers. Die Mitnehmerstücke bleiben also während des Umlegens zwischen den entsprechenden Mikrometerwerken; das Umlegen kann deshalb vollständig gefahrlos, ohne jede Vorbereitung, innerhalb weniger Sekunden ausgeführt werden. Entsprechende Anschläge sorgen dafür, dass sich der Umlegebock nur um 180^0 drehen kann, die Axencylinder also immer wieder über die Axenlager kommen. Die Mikrometerschrauben der auf der Brücke E befindlichen Mikrometerwerke werden nicht direkt in Betrieb gesetzt, sie tragen vielmehr Zahnräder, in welche entsprechende Triebe eingreifen, deren Enden nach beiden

Seiten des Bogenstücks hervorragen und geränderte Köpfe zum Anfassen haben, so dass man bei jeder Lage des Fernrohrs einen Triebkopf finden wird, welcher für die Einstellung bequem ist.

Ein Universal von denselben Dimensionen nur mit gebrochenem Fernrohr und demgemäss etwas abgeänderter (centraler) Anordnung des Vertikalkreises und der Ablesemikroskope, ebenfalls aus der Bamberg'schen Werkstätte, zeigt Fig. 799. Dasselbe kann durch Beigabe einer Libelle mit besonderer Klemmung auf der Axe leicht zu Beobachtungen nach der Horrebow-Talcott-Methode benutzt werden.

Ein kleineres Universalinstrument aus derselben Werkstätte ist in Fig. 160 dargestellt. Es hat im Wesentlichen dieselbe Konstruktion, nur ist es erheblich kompendiöser gebaut und eignet sich daher viel leichter zum Transport, also für Reisen. Zwei kleine Instrumente, speciell zu solchem Zwecke konstruirt, zeigen die Fig. 800 u. 801. Das Erstere ist nach Angaben des Herrn Geheimrath W. Förster gebaut und hat Kreise von 10 cm, welche durch je zwei Verniers auf Minuten ablesbar sind. Das Fernrohr hat 18 cm Brennweite. Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes geschieht durch Objektivblende. Das zweite etwas grössere Instrument hat die für Reisen in den Tropengegenden, wo die Atmosphärilien und namentlich auch häufig der feine Sandstaub die Theilkreise stark angreifen, die letzteren ganz bedeckende Vernierkreise. Das Fernrohr hat 18 mm Öffnung bei 135 mm Brennweite. Die Kreise geben bei 100 mm Durchmesser durch je zwei Verniers noch 20 Bogensekunden. Die zweite Form zeichnet sich auch dadurch aus, dass der Horizontalkreis dem eigentlichen Oberbau sehr nahe liegt. Die Niveaus der Vertikalkreise sind entweder mit dem Obertheil oder mit dem Nonienkreis fest (d. h. aber justirbar) verbunden.

Die Fig. 802 u. 803 stellen zwei Universalinstrumente aus dem Breithaupt'schen Institute dar, welche ihrem Typus nach auch zu denjenigen der Pistor und Martins'schen Konstruktion[1]) gehören, aber doch in manchen Dingen davon abweichen. Bei dem ersten Instrument ist ebenfalls mit dem weit ausladenden Dreifuss die Vertikalaxe und ein Zwischenstück, welches den Horizontalkreis h und eine Ringklemme für den Oberbau trägt, fest verschraubt; Kreis und Klemme stehen in keiner Berührung, und es lässt sich deshalb der Kreis zu dem oben angedeuteten Zwecke leicht um bestimmte Winkel drehen. Über die Vertikalaxe ist die säulenförmige Büchse B gesteckt, welche mit dem ganzen Gewichte des Oberbaues vermittelst einer durch vier Schrauben gehaltenen und verstellbaren Stahlplatte auf dem oberen Axenende ruht, und nur die Führung durch die doppelkonische Axe selbst erhält.[2]) Durch Anziehen oder Lösen der Schrauben kann die Büchse etwas gehoben oder gesenkt und dadurch eine Balancirung und zugleich sichere, aber nicht zu leichte Drehung erzielt werden. Das übrige Gewicht des Obertheiles, als Fernrohr mit Axe, Höhenkreise, Mikroskopenträger mit Mikroskopen und

[1]) Betreffs des Vorbildes auch dieser Konstruktion vergl. die auf S. 823 gegebene Anmerkung.

[2]) F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel, Magazin der neuesten mathematischen Instrumente, S. 61.

Libellen, wird zum grössten Theile mittelst der auf Spiralfedern ruhenden Friktionsrollen von einem den oben beschriebenen sehr ähnlichen Umlegebocke gestützt. An das untere Ende der Büchse ist eine vierarmige Platte P geschraubt, zwei Arme derselben dienen als Träger der Mikroskope M und M', der dritte für den Index i, während der vierte Arm zwischen die Mikrometerschraube und gegenwirkende Spiralfeder der Klemmvorrichtung greift. Auf der Büchse und mit dieser fest verbunden sitzt der konisch geformte, durchbrochene Träger T T' für die horizontale Drehaxe, mit weit von einander abstehenden Axenlagern. Die aus einem Stücke gedrehte, stählerne Horizontalaxe kann durch die Ringklemme K und durch die Mikrometerschraube m gesichert und fein bewegt werden. An einem Ende der Axe ist das Fernrohr, am anderen

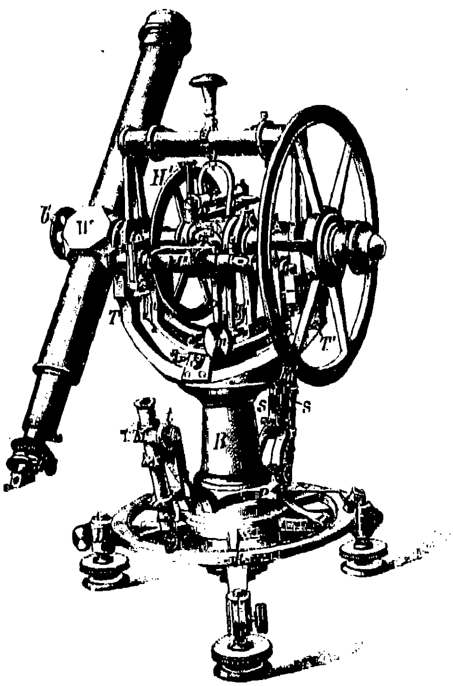


Fig. 802.

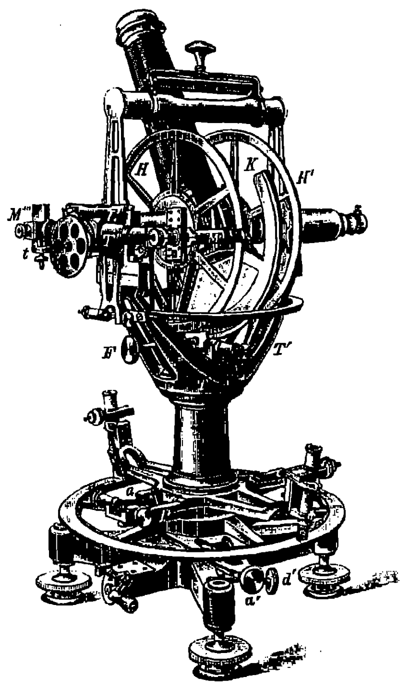


Fig. 803.

der Höhenkreis aufgesetzt, welcher ebenfalls nur auf Reibung sitzt. Zwischen den Lagern trägt die Axe noch einen zweiten kleineren Höhenkreis H' für die grobe Theilung, dessen Bezifferung von 0 bis 360 geht, während der Hauptkreis die feine Theilung und nur 36 mal wiederholt die Ziffern von 0 bis 9 an den einzelnen Graden enthält. Ferner ist auf die Axe, aber um dieselbe drehbar, der Mikroskopenträger T'' gesteckt, welcher durch den gabelförmigen Arm *a* mit mikrometrischer Verstellung in seiner Lage gehalten wird. Die Mikroskope an dem Träger, von denen nur das eine M'' in der Zeichnung sichtbar ist, sitzen seitwärts und haben Prismenokulare, so dass die Ablesung am Horizontal- und Vertikalkreise von denselben Standpunkten aus geschehen kann. Auf dem Mikroskopenträger T'' sitzt die

Versicherungslibelle L′ und an einem Arme der Index für den Kreis H′. Die auf der Drehaxe ruhende Reiterlibelle findet ihren Halt durch einen am Klemmarme festsitzenden Bügel.

Die Fig. 803 stellt das von der Firma als „Astronomischer Theodolit“ bezeichnete Instrument dar; es ist im Wesentlichen von gleicher Konstruktion, nur tritt an Stelle des excentrischen, geraden Fernrohrs ein centrisches, gebrochenes. Der Horizontalkreis hat durch Hinzufügen der Klemme a′ und des Mikrometerwerkes bei d′ eine Feineinstellung erhalten. Die Einrichtung des gebrochenen Fernrohrs ist die früher gebräuchliche mit besonderem Prismenträger und kleinem angekitteten Prisma für die durch eine Blendenscheibe regulirbare Feldbeleuchtung.

Das ganze Instrument ist etwas gedrungener gebaut als das vorige, entsprechend der durch Fernrohr und Kreisanordnung bedingten Gewichtsvertheilung. Zur Balancirung des Objektivrohres und zugleich zur Feststellung durch die Klemmschraube F dient der Klemmbogen K; von der Vorrichtung zur Feinstellung ist in der Figur nur die Federbüchse sichtbar. Der verstellbare Höhenkreis H mit der feinen Theilung, und der auf der Drehaxe feste Kreis H′ mit der groben Theilung befinden sich innerhalb der Lager zu beiden Seiten des Objektivrohres, der Mikroskopenträger T″ dagegen mit Mikroskopen M″, M‴ und Libelle L′ sind ausserhalb der Lager auf die Drehaxe gesteckt. Die Axenlibelle ist zum bequemeren Ablesen mit einem Spiegel versehen. Zur Vermeidung einer bei dem grossen Gewichte der Drehaxe mit Zubehör immer möglichen seitlichen Ausweichung der Lager und zum Schutze der Höhenkreise ist um den nach Repsold'schem Systeme konstruirten Axenträger T T′ ein Sicherheitsring gelegt.

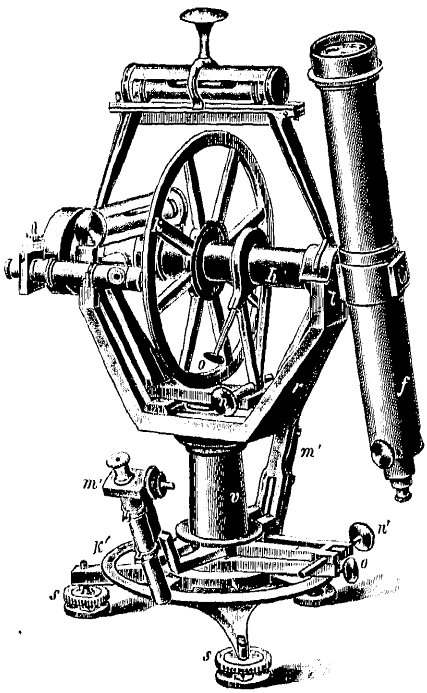


Fig. 804.

Ausser den älteren Konstruktionen der Universalinstrumente von Pistor & Martins, Bamberg und Breithaupt sind namentlich die Einrichtungen, welche die Repsold'sche Werkstätte in den letzten Decennien diesen Instrumenten gegeben hat, wiederum vorbildlich geworden. Man ist da besonders davon ausgegangen, alles für die Messungen nicht unbedingt Nöthige vom Instrumente zu entfernen und das Princip der Einfachheit durchzuführen.

Ein älteres Repsold'sches Universalinstrument mit excentrischem, geradem Fernrohr zeigt Fig. 804, während die neueren Konstruktionen in den Fig. 791 u. 792 zur Anschauung kommen. Diese letzteren unterscheiden sich von den bisher beschriebenen wesentlich dadurch, dass die Mikroskope für den

Vertikalkreis nicht mittelst einer Büchse auf der Axe ruhen, sondern auf besonderen Armen, und durch diese mit dem Lagerbocke direkt verbunden sind. Die dadurch bedingte grössere Stabilität dürfte von grossem Vortheil sein; gleichzeitig ist damit aber, wie schon erwähnt, auf eine Umlegung des Obertheiles in den Lagern verzichtet, und dadurch der zu diesem Zwecke früher allgemein angebrachte Umlegebock entbehrlich geworden. Der Kreis ist in unmittelbarer Nähe des Kubus[1]) aufgesetzt und auf der anderen Seite desselben befindet sich Klemme und Feinbewegung.[2]) Bei dem Instrumente in Fig. 805 ist der Horizontalkreis auch mit mikroskopischer Ablesung ver-

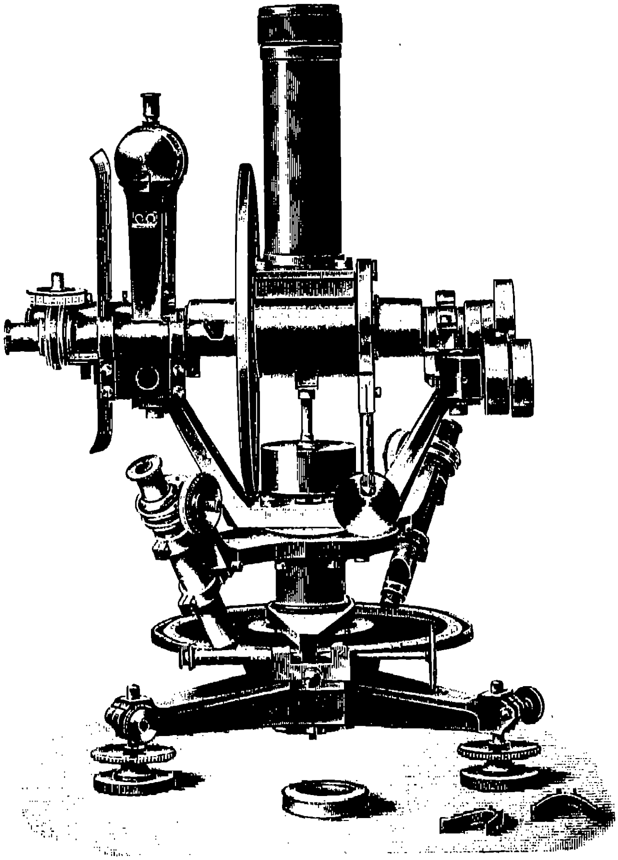


Fig. 805.

sehen; den schief gestellten Mikroskopen entspricht aber hier auch eine auf konischer Limbusfläche angebrachte Theilung. Das in Fig. 806 dargestellte Instrument ist mehr als Höhenkreis ausgebildet, der Horizontalkreis ist daher weniger genau getheilt und nur mit Vernierablesung versehen. Bei dem

[1]) An Stelle des Kubus ist auch das jetzt bei den Repsold'schen Durchgangsinstrumenten eingeführte cylinderförmige Mittelstück getreten.

[2]) Es mag auch hier auf die verschiedene Form der Köpfe für Klemmschrauben und Feinbewegungsschrauben bei den Repsold'schen Instrumenten hingewiesen werden. Der kleine Radius der ersteren soll eine zu starke Anpressung verhindern.

Instrumente, welches die Fig. 792 zur Anschauung bringt, ist die Anfügung einer zweiten Libelle für den Träger der Horizontalmikroskope vorgesehen und das Okular des Fernrohrs hat ein Mikrometer mit beweglichem Faden für die Horrebow-Talcott-Methode der Breitenbestimmung. Dem Mikroskopträger gegenüber an dem zweiten Lagertheile der Horizontalaxe sind zur völlig gleichen Vertheilung der Massen mit Bezug auf die Vertikalaxe entsprechende Gegengewichte angebracht. Der Bau der gebrochenen Fernrohre entspricht ganz dem bei dem transportablen Durchgangsinstrumente dieser Werkstätte näher zu beschreibenden.

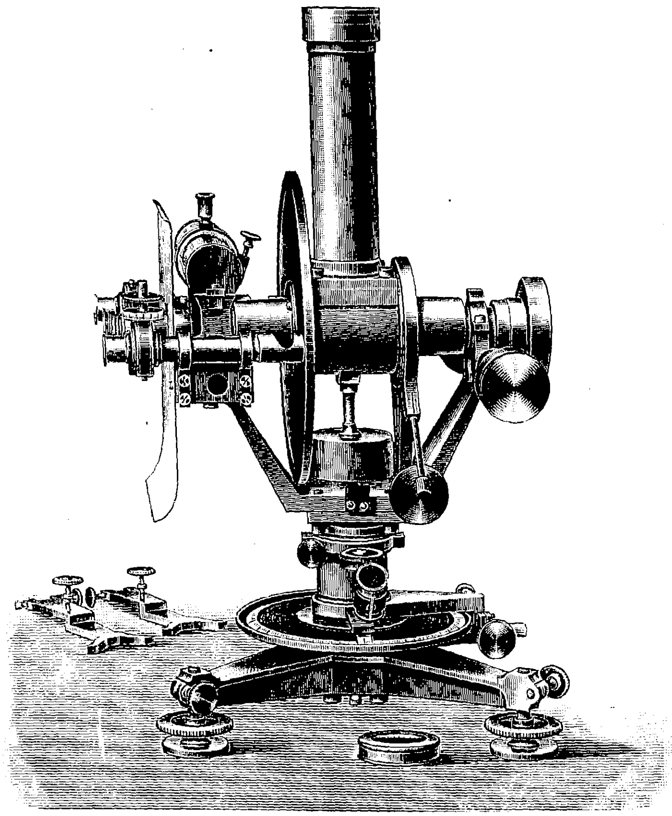


Fig. 806.

Zum Schutze des dem Beobachter zunächst gelegenen Armes des Lagerbockes, sowie der Libellen gegen die Körperwärme ist bei den neuen Instrumenten ein in den Fig. 805 u. 806 sichtbares geeignetes Schutzblech angebracht. Es würde viel zu weit führen, jeden einzelnen der äusserst zweckmässig angebrachten Theile dieser Instrumente hier aufzuzählen, die grosse Deutlichkeit der Figuren überhebt dieser Mühe.

Zum Theil der Repsold'schen Bauart, zum Theil der Bamberg'schen folgen die Instrumente von Gustav Heyde in Dresden. Fig. 807 zeigt ein grosses Universalinstrument desselben, während in Fig. 808 ein kleines Instrument dargestellt ist, und in Fig. 809 ein solches, welches die von Heyde

eingeführte Ablesung der Kreise mittelst einer an der Feinbewegungsschraube der beiden Axensysteme angebrachten Mikrometerschraube mit Trommel zur Anschauung bringt.[1]) Durch diese Einrichtung werden die Mikrometer in den Ablesemikroskopen entbehrlich, so dass letztere nur Pointirungsfäden zu führen brauchen, was natürlich eine Vereinfachung ist. Ob dieselbe aber nicht auf Kosten der Sicherheit erzielt wird, vermag ich, da ich ein solches Instrument noch nicht selbst zu benutzen Gelegenheit hatte, nicht zu beurtheilen, allerdings lassen die bekannt gemachten Resultate zufrieden stellende Messungen erkennen.[2])

Von deutschen Firmen, welche Hervorragendes im Bau grosser Universalinstrumente leisten, mögen hier noch einige Instrumententypen angeführt

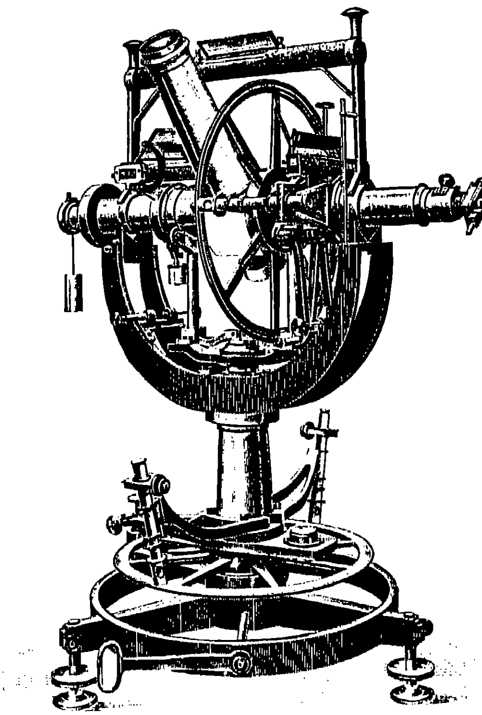


Fig. 807.

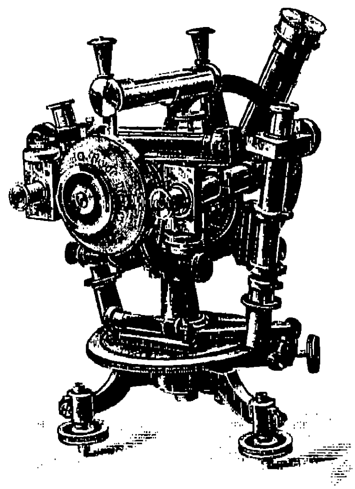


Fig. 808.

werden. Zunächst stellt Fig. 810 ein Instrument von Wanschaff in Berlin dar. Es ist dem in Fig. 797 abgebildeten von Bamberg fast ganz gleich, nur in manchen Theilen etwas einfacher. Bei einem grösseren Instrument (Leipzig) hat Wanschaff zur Erzielung einer gleichmässigen Beleuchtung einen besonderen Aufsatz für die Lampe beigegeben, welche Mikroskope und

[1]) Vergl. die oben auf S. 153 gegebene nähere Beschreibung und Abbildung dieser Einrichtung.

[2]) Heyde ist in neuer Zeit sogar noch weiter gegangen. Er hat einen Theodoliten für Feldmesszwecke gebaut, der gar keine Theilungen auf den Kreisen hat, sondern nur Zähne am Rande derselben. Professor Hammer beschreibt dieses Instrument in Zschr. f. Instrkde. 1896, S. 289.

Gesichtsfeld des Fernrohrs gleichzeitig erhellt. Die Einrichtung ist ähnlich der später beim Strassburger Altazimuth dargestellten. Fig. 811 giebt ein Universalinstrument von Meissner in Berlin, wie es zum Theil nach Angabe von G. Witt neuerdings gebaut wurde. Dasselbe ist im Grossen und Ganzen den älteren Instrumenten nachgebildet (bezüglich der Balancevorrichtung mit der neuen von Homann in Zschr. f. Instrkde. 1891 beschriebenen Einrichtung versehen), einige Theile sind aber von besonderer Konstruktion und mögen hier nach den mir gütigst zur Verfügung gestellten Angaben des Herrn Witt näher erläutert werden.

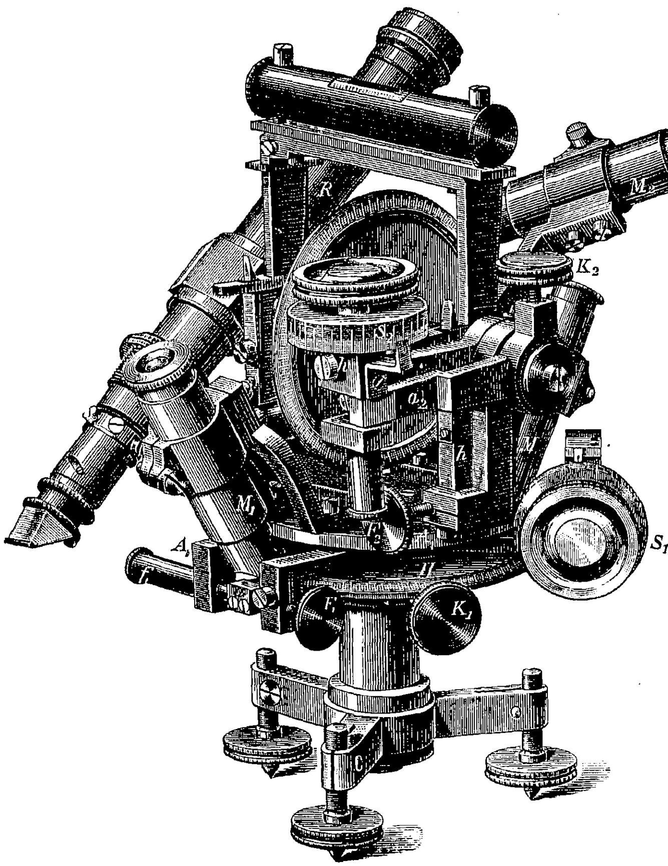


Fig. 809.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1896.)

„Das Okularmikrometer kann im Positionswinkel um 90° gedreht werden, ein kurzes, cylindrisches, starkes Rohrstück ist unten mit einer durchbohrten Platte abgeschlossen. Auf der Platte ist koncentrisch zum Rohr ein ebenfalls cylindrisches, dickes Messingstück aufgesetzt, so dass eine nicht ganz $^{3}/_{4}$ Umkreis fassende Rinne übrig bleibt. In die Rinne passt ein mit dem Mikrometerkasten verschraubtes cylindrisches Rohr, wie es die Fig. 812 darstellt. Eine auf das Messingstück a aufgeschraubte Platte, welche das Rohr b fest umfasst, d. h. an den Stellen c dicht aufliegt, verhindert ein Herausfallen. Bei A und B befinden sich die Anschläge, welche die tangential gestellten

Korrektionsschrauben tragen. Ein mit dem Rohr b fest verbundener starker Stift gleitet bei der Drehung des Mikrometerobertheiles über den dünner gehaltenen Theil von a und lehnt sich in den beiden Hauptlagen gegen die Anschlagsschrauben bei A bezw. B.

Besonders eigenthümlich ist die Führung der Büchse des Oberbaues eingerichtet. Dieselbe ist nicht direkt aufgesetzt; sie trägt vielmehr im Innern ganz oben eine eben gedrehte Platte, die mit verstellbaren Schrauben mit der Büchse verbunden ist. In Axe und Platte ist je eine Rinne eingeschnitten;

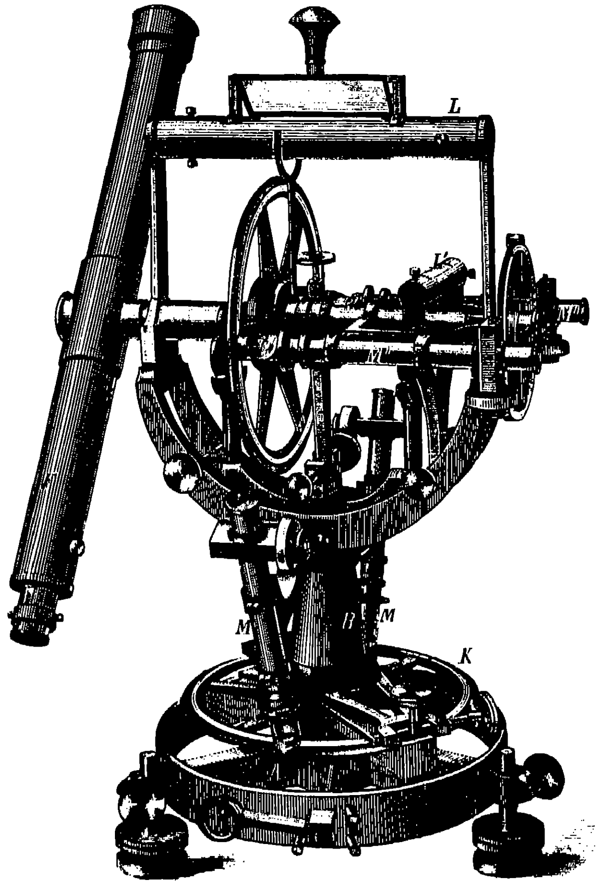


Fig. 810.
(Aus Loewenherz, Bericht.)

in diese sind eine hinreichende Zahl kleiner Stahlkugeln eingelegt, wodurch ein leichterer Gang erzielt wird. Je nachdem die Platte mit Hülfe der Stellschrauben (es sind im Ganzen drei) mehr oder weniger nahe an die obere Innenfläche der Büchse gebracht wird, kann bewirkt werden, dass diese sich auf der Axe mit der nöthigen Reibung dreht."

Ein sehr einfaches und kompendiös gebautes Instrument ist das in der Fig. 813 (S. 840) abgebildete aus der Werkstatt von SPRENGER hervorgegangene, von dessen innerem Bau der Durchschnitt in Fig. 324 einen Anblick gewährt.[1])

[1]) Loewenherz, Bericht, S. 87.

Horizontal- und Vertikalkreis, letzterer von Aluminium,[1]) haben einen Durchmesser von 17 cm. Die beiden Mikroskope für jeden Kreis geben 10 Sekunden Ablesung. Büchse B und Träger T sind in einem Stück gegossen und derartig konstruirt, dass die Last möglichst auf der Mitte ruht. Die Horizontalaxe H ruht in Ringlagern, in einem vollständig symmetrisch durchgebildeten und aus einem Stück gegossenen Bock, welcher durch eine Stahlaxe mit dem Träger

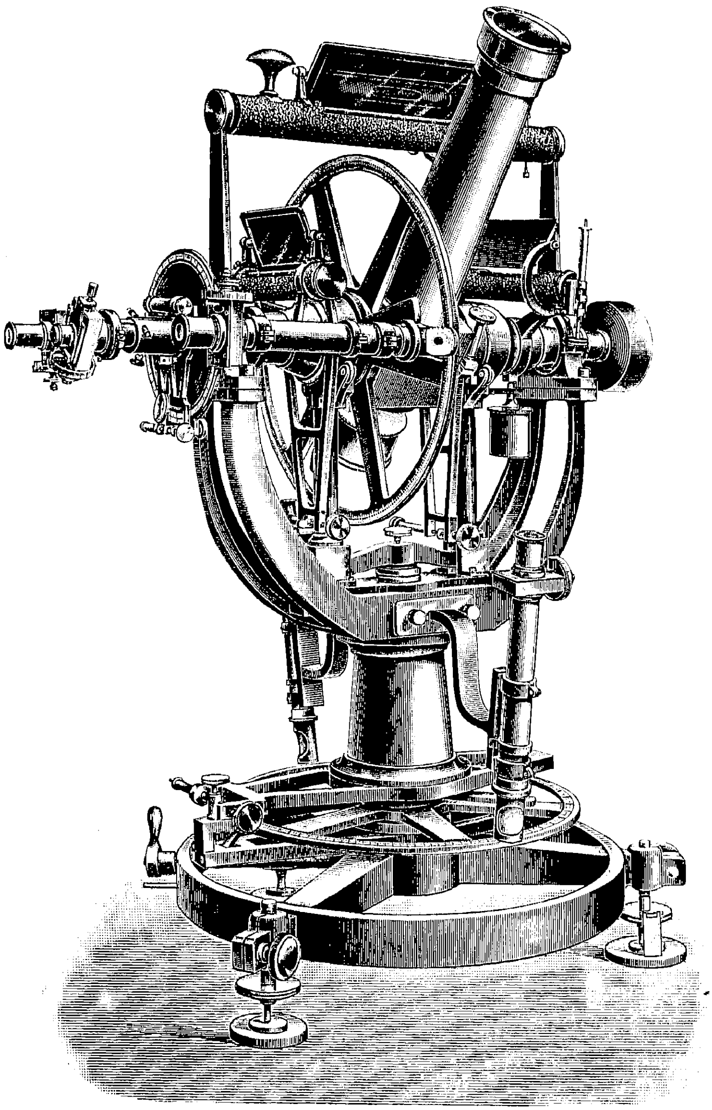


Fig. 811.

verbunden ist und auf derselben durch einen Schraubendeckel gehoben und gesenkt werden kann. Die Konstruktion ist spannungsfrei, und sämmtliche

[1]) Auch die amerikanischen Firmen machen in neuerer Zeit bei ihren Konstruktionen vielfach vom Aluminium Gebrauch, wie aus dem neuesten Preisverzeichniss von Buff & Berger hervorgeht, die grosse Gussstücke aus Aluminiumlegirungen herstellen.

Theile sind vollständig ausbalancirt. Die Mikroskope für den Vertikalkreis sind an zwei Trägern angebracht, die ihrerseits direkt mit dem Lagerbock für die Horizontalaxe verschraubt sind, so dass also auch hier auf die Umlegung verzichtet ist. Die Axencylinder sind demgemäss auch mit festen Deckeln versehen. Die Mikroskopmikrometer unterscheiden sich von den gebräuchlichen insofern, als die zur Bewegung des Schlittens dienende Mikrometerschraube mit zwei Gewinden, einem Rechts- und einem Linksgewinde, versehen ist, für welche das eine Muttergewinde in dem Schlitten, das andere dagegen in der Wandung des Kastens sich befindet. Die Mikroskope geben in der Ablesungssumme ohne Weiteres das arithmetische Mittel der Ablesung.

Ein besonders übersichtlich gebautes kleines Universalinstrument der Firma O. Fennel in Kassel bringe ich noch in Fig. 814 (S. 841) zur Anschauung; wenn auch hier nur Vernierablesung vorgesehen ist, so sind doch ähnliche Instrumente neuerdings mehrfach uf Forschungsreisen in Afrika mit sehr gutem Erfolge zu astronomischen Ortsbestimmungen angewandt worden.[1]) Dasselbe gilt auch von den kleinen Instrumenten von Hildebrand in Freiburg (vormals August Lingke), siehe die Fig. 815 u. 816 (S. 842—43). Diese kleinen Instrumente sind so fest und doch leicht gebaut, dass man denselben bedeutende Strapazen zumuthen kann, ohne sie zu schädigen. Die Kreise sind mit Schutzhüllen bedeckt, so dass auch äussere Einflüsse des Klimas u. s. w. keinen Schaden anrichten können. Dergleichen Instrumente sind auf Landreisen meiner Ansicht nach unbedingt den Reflexionsinstrumenten vorzuziehen. Eine Eigenthümlichkeit der Hildebrand'schen Instrumente ist die mit der Klemme der Horizontalaxe verbundene mikrometrische Feinbewegung (in Fig. 816 ist die Trommel der Mikrometerschraube sichtbar), welche so eingerichtet ist, dass ein Trommeltheil der Schraube einer Elevation des Fernrohrs entspricht, die zu dessen Brennweite in einem solchen Verhältniss steht, dass der Horizontalfaden auf einer 100 m entfernten Latte sich gerade um einen Meter hebt. Die Anzahl der Trommeltheile, um welche die Visirlinie gehoben werden muss, um einen Meter in vertikaler Richtung am Zielpunkte zu überstreichen, giebt also direkt die Entfernung desselben in der Einheit von Hundert Metern an. Für flüchtige Aufnahmen ist das ein ganz gutes Hülfsmittel. Auch grössere Universal-Instrumente werden gegenwärtig von Hildebrand zum grossen Theil für den Export in

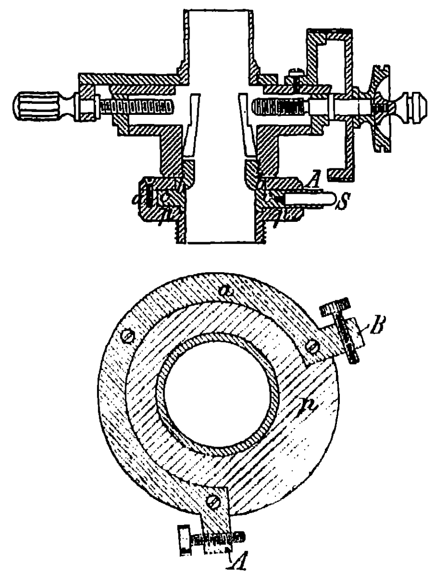


Fig. 812.

[1]) Bezüglich der eigenthümlichen Beleuchtungseinrichtung für das Gesichtsfeld siehe oben S. 397.

mustergültiger Ausführung gebaut; zwei der neuesten Instrumente mit geradem resp. gebrochenem Fernrohr bringen die Fig. 817 u. 818 (S. 844—45) zur Anschauung. Bei letzterer Darstellung ist namentlich auf die eigenthümliche Anordnungdes Versicherungsfernrohrs aufmerksam zu machen.

Hartmann & Braun in Bockenheim haben das Reflexionsprisma vor dem Objektiv für kleine, leichte Reiseinstrumente ausgenutzt. Eugen Hartmann beschreibt ein solches kompendiöses Instrument in Zschr. f. Instrkde. 1883 S. 353 ausführlich.[1]) Die wesentlichen Punkte sind die folgenden: Das Objektiv ist nach

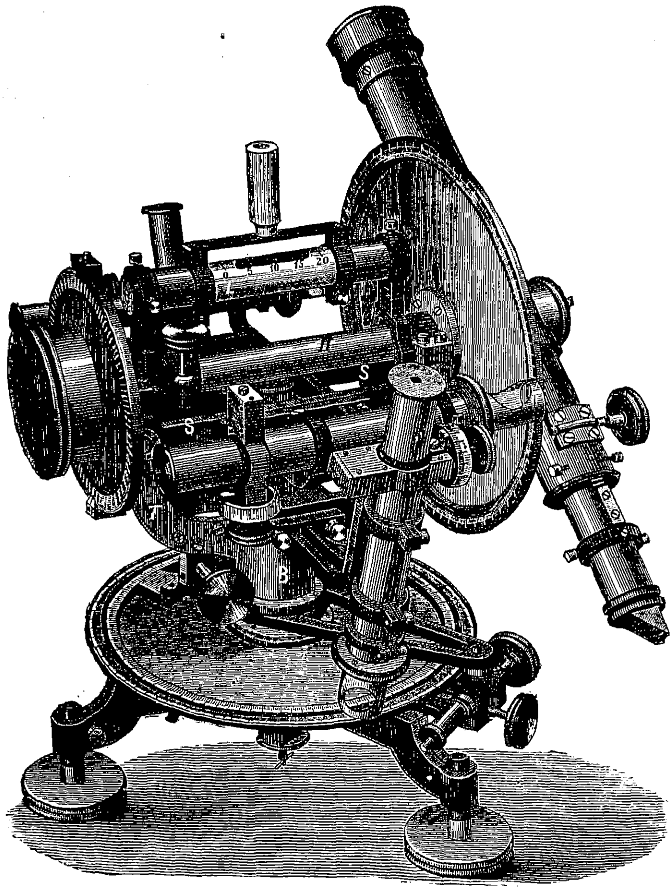


Fig. 813.

Dr. Adolph Steinheil's[2]) Angabe konstruirt; es besteht aus einem bikonvexen Crownglas, das zwischen zwei Flintglasmenisken eingekittet ist. Seine Brennweite beträgt 112,5 mm bei einer freien Öffnung von 27 mm. Dieses Verhältniss von Brennweite und Öffnung ist für die Helligkeit sowohl wie für das Gesichtsfeld ein ausserordentlich günstiges und kommt gerade solchen Instrumenten

[1]) Es wird dort angegeben, dass ähnliche Instrumente von Stegner in Kiel nach C. F. W. Peters Angabe gebaut wurden, und dass auch Secrétan in Paris eine ähnliche Konstruktion ausführte.

[2]) Beschrieben von Dr. L. Seidel in Carl's Repertorium der Exp. Physik, Bd. VIII, S. 173.

besonders zu statten. Das Okular, ein aus zwei kleinen, achromatischen Linsen bestehendes Mikrometerokular mit einer Äquivalentbrennweite von 10 mm, giebt etwa elfmalige Vergrösserung. Besonders günstig ist das grosse, wahre Gesichtsfeld des Fernrohrs, welches das Auffinden der Objekte ungemein erleichtert.

Das Fernrohr, Fig. 819 (S. 846), ist um seine optische Axe drehbar und liegt mit seinen beiden Laufringen aus Bronze in den Lagerstücken auf vier mit

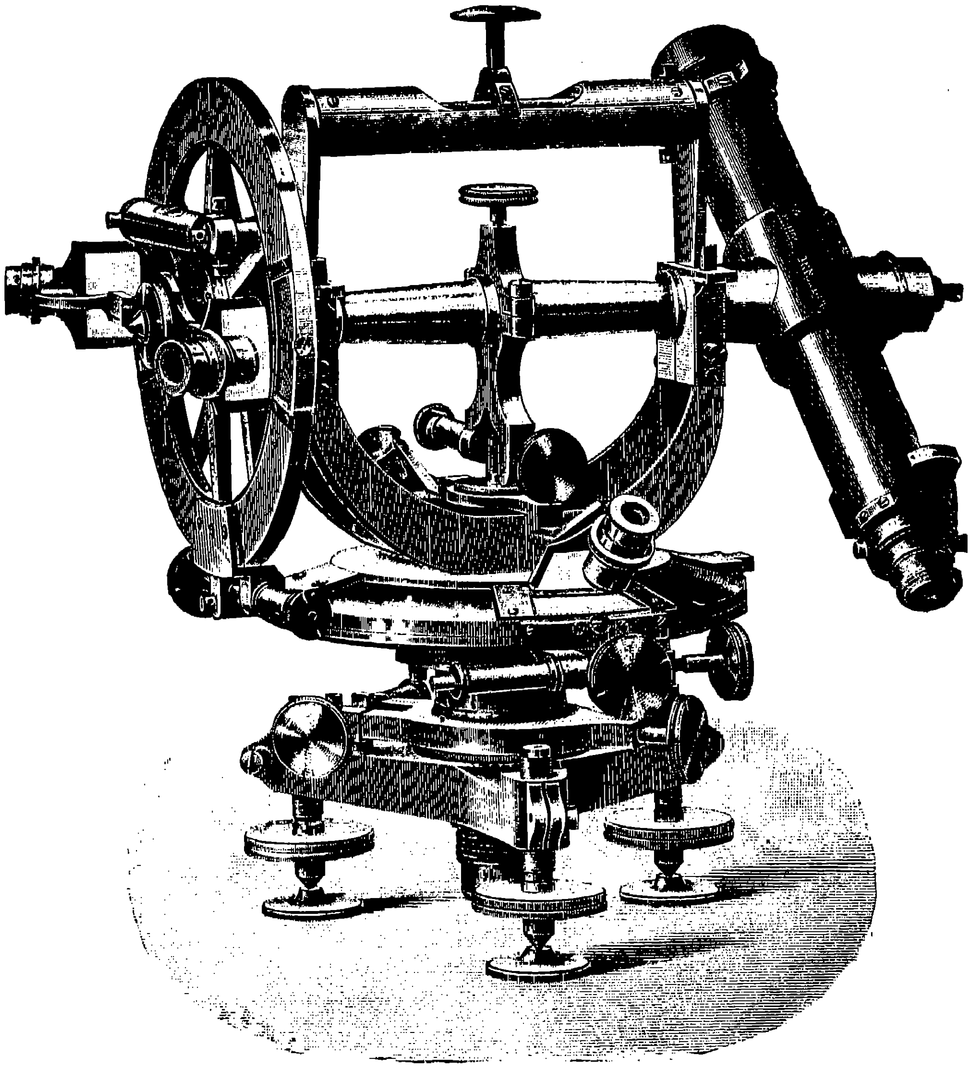


Fig. 814.

Achatkuppen versehenen Schrauben, die zur Korrektion der Richtung der optischen bezw. Horizontalaxe gegen die der Vertikalaxe des Instruments dienen und nach vollzogener Justirung in ihren Muttern zu klemmen sind. Die feine Einstellung geschieht durch einen in der Mitte des Fernrohrs befindlichen Klemmarm mit Mikrometerschraube und auslösbarem Federstift,

welche letztere je gegen eine nach unten schräg ausgearbeitete Fläche drücken, wie sie der Alhidadenarm deutlich erkennen lässt, wodurch das Fernrohr vor dem Ausheben aus den Lagern gesichert wird und feste Lagerdeckel entbehrlich werden.

An dem Okularende sitzt der Vertikalkreis von 110 mm Durchmesser in Viertelgrade getheilt, ferner die Alhidade mit festen, an der innern Peripherie des Kreislimbus liegenden Verniers, an welchen 20 Sekunden abzulesen sind. Am anderen Ende ist vor das Objektiv ein Reflexionsprisma aus Crownglas angesetzt, dessen Gehäuse mit Korrektionsschrauben versehen ist, um den Kollimationsfehler berichtigen zu können.

Die Beleuchtung geschieht durch einen in der Hypotenusenfläche des Prismas eingeschliffenen matten Ring mittelst einer am Stativ befestigten

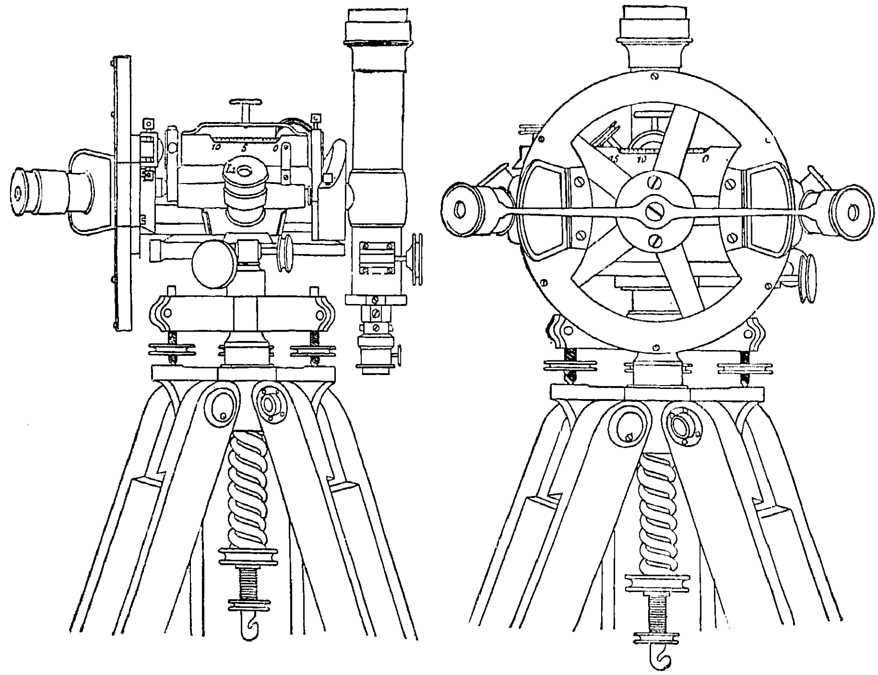


Fig. 815.

Lampe. Im Übrigen bietet das Instrument nichts Aussergewöhnliches dar, was nicht durch die Figur genügend erläutert wäre. Nach Abnahme des Objektivprismas soll dasselbe auch als Nivellirinstrument dienen. Es dürfte aber zweifelhaft erscheinen, ob namentlich auf Reisen, in den Händen wenig geübter Beobachter, eine solche vielseitige Benutzung den Beobachtungen zum Vortheil gereicht.

Eine etwas andere Konstruktion zeigen die bei den geodätischen Operationen in Österreich verwendeten grossen Universalinstrumente, welche von Starke & Kammerer in Wien gebaut und eingehend von Oberst Hardl in den Mittheilungen des Militair-Geograph. Instituts beschrieben sind.[1])

[1]) Vergl. Bd. X u. XI dieser Publikation.

Das in Fig. 793 dargestellte Instrument hat einen Horizontalkreis von 26 cm und einen Vertikalkreis von 21 cm Durchmesser. Die Kreise sind von 10′ zu 10′ getheilt und geben mittelst stark vergrössernder Mikrometermikroskope noch Doppelsekunden direkt an. Die Form des Fernrohrs weicht insofern von der gebräuchlichen ab, als an Stelle der cylindrischen Gestalt, welche immer noch merkbare Durchbiegungen erfährt, die konische Form gewählt wurde, wie sie die oben gegebene Figur erkennen lässt. Das Fernrohr hat bei 48 mm Öffnung eine Brennweite von 370 mm und nahe 40fache Vergrösserung. Für kurze Entfernung ist auf dem Fernrohr ein Diopter angebracht, welches sowohl für horizontale als vertikale Visuren eingerichtet ist. Ebenso trägt für oberflächliche Nivellements das Fernrohr, wie es früher häufiger der Fall war, eine kleine Libelle.[1])

Die Kreise lassen sich leicht auf ihren Axen drehen und in jeder beliebigen Lage festklemmen, um die einzelnen Messungssätze an verschiedenen Stellen der Theilung beginnen zu können. Ausser der oben schon erwähnten

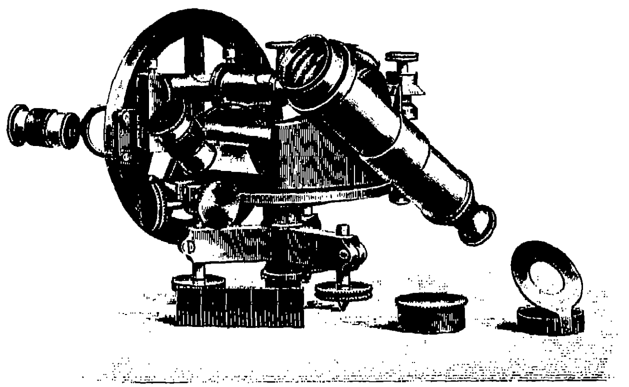


Fig. 816.

Form der Mikroskope besitzen diese Instrumente keine bemerkenswerthen Eigenthümlichkeiten, auf die besonders hinzuweisen sein würde.

In den letzten Decennien zeichnen sich auch einige rührige amerikanische Werkstätten durch den Bau kleinerer, astronomischer Instrumente aus, und liefern auch Universale entweder eigener Konstruktion oder nach bewährten deutschen Mustern; so hat z. B. die bekannte Firma Buff & Berger für ihre Universalinstrumente fast ganz genau die Bamberg'sche Form angenommen. Ein kleines Instrument dieser Werkstätte bringt die Fig. 820 (S. 847) zur Anschauung.[2]) Dasselbe ist mittelst der Hand in den Lagern umlegbar und giebt bei $3^1/_2$ zöll. Kreisen noch 2″ durch Schätzung an den Mikroskoptrommeln; das Fernrohr hat bei $1^1/_4$ Zoll Öffnung eine Brennweite von 10 Zoll. Im Übrigen sind dem Instrument ausser den beiden genauen Libellen noch zwei andere beigegeben, welche zur schnellen Justirung dienen sollen.

[1]) Bei den sogenannten Tachymetern kommen jetzt diese Libellen häufig sogar als Reversionslibellen wieder zur Anwendung.

[2]) Ein grösseres Universal dieser Firma entspricht nach dem Preisverzeichniss ganz genau der in Fig. 794 gegebenen Anordnung.

Einen erheblich abweichenden Anblick gewährt dagegen die Form der Universalinstrumente (Altitude-Azimuthinstrumente), wie sie von der Firma Sägmüller in Washington gebaut werden. Die Fig. 821 u. 822 (S. 848—49) zeigen zwei Instrumente dieser Art, das erstere ist eigentlich nur zu genauen Messungen im azimuthalen Sinne gebaut; diese Abbildung lässt aber den Bau der Horizontalaxe und die Anordnung von Fernrohr und Kreis auf derselben besser erkennen, als die zweite, ein eigentliches Universalinstrument

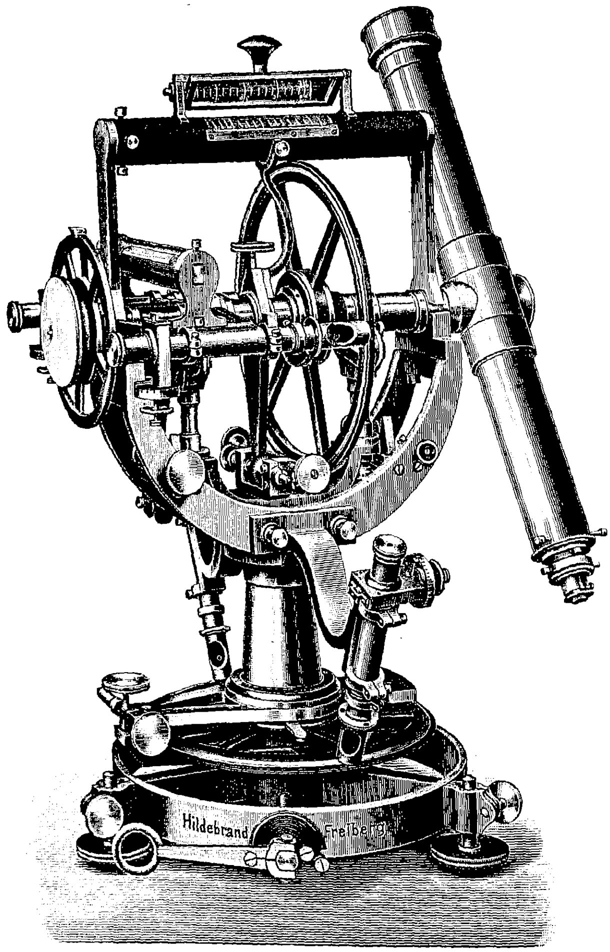


Fig. 817.

darstellende. Wie man sieht, ist bezüglich Kreis und Fernrohr die Symmetrie etwas geopfert, dafür aber eine innige Verbindung beider Theile erzielt, wie wir sie auch bei den Repsold'schen Instrumenten neuer Konstruktion finden. Die starke und gedrungene Bauart, welche sich in der Darstellung deutlich ausspricht, gewinnt noch an Einfachheit und Stabilität dadurch, dass, soweit es möglich ist, einheitliche Gussstücke ohne Rücksicht auf die äussere Eleganz verwendet werden. Die drei Füsse des Untergestelles A A A, Fig. 822, sind durch den Ring R, ähnlich wie bei Bamberg, mit einander verbunden. Auf

kurzem Cylinder C sitzt zunächst die Radialklemme K, welche den gleich darauf folgenden Kreis sowie die mit dem Oberbau des Lagerbockes fest verbundene Deckscheibe P umfassend, den Dorn D für die Feinbewegung des Oberbaues zwischen Feinschraube und Federbolzen aufnimmt. Die Deckplatte P hat nur an zwei diametralen Stellen runde Öffnungen mit cylindrischen Aufsätzen, in welche die am Lagerbock L L′ sehr sicher befestigten Mikroskope M M′ genau hineinpassen. Auf diese Weise ist ein völliger Abschluss des Horizontalkreises erzielt. Der Lagerbock ist ein einziges Gussstück, nur das

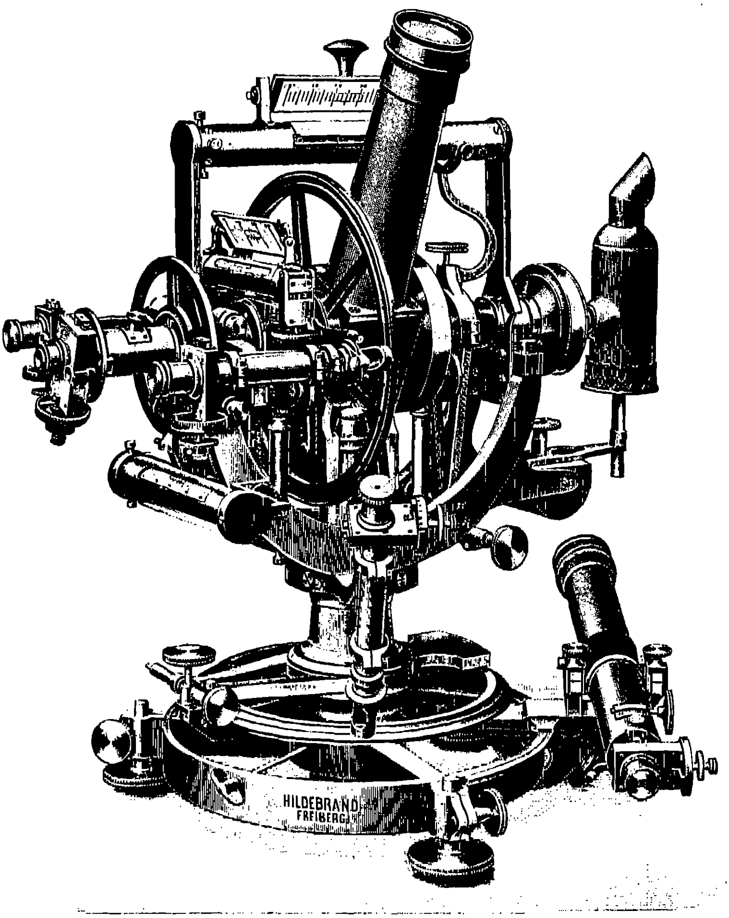


Fig. 818.

eine Lager selbst ist gewöhnlich vertikal justirbar (Fig. 822 auf L′), am anderen Lagerständer sind die beiden Arme n und n′ angesetzt, welche die Mikroskope N und N′ für den Vertikalkreis tragen. Dieselben sind also auch hier von der Horizontalaxe unabhängig angebracht, was natürlich auch die Umlegbarkeit der letzteren ausschliesst. Zur Äquilibrirung sind an dem anderen Theile des Lagerbockes den Mikroskopen gleichkommende Gegengewichte p p′ angeschraubt (wie bei den Repsold'schen Instrumenten). Die beiden Mikroskope N N′ werden in ihrer Lage durch das empfindliche Niveau l und die Horizontalaxe durch

das Aufsatzniveau l'[1]) kontrolirt. Ausserdem sind mit dem Oberbau fest verbunden noch die beiden zur genäherten Horizontirung dienenden Libellen R und R' von geringerer Empfindlichkeit. Die Kreise haben bei diesen Instrumenten 10 engl. Zoll Durchmesser. Das Fernrohr hat ein einfaches Mikrometerwerk, hier namentlich zum Zwecke der Distanzmessung gedacht, seine Brennweite ist so bemessen, dass es sich noch eben durchschlagen lässt, ohne die Höhe des Lagerbockes zu gross machen zu müssen. Die übrigen unwesentlicheren Konstruktionstheile und ihre Anordnung sind leicht in den Figuren zu sehen, zum Theil auch schon oben erläutert.

Wenn auch keine Besonderheiten aufweisend, möchte ich an dieser Stelle noch die Abbildungen eines der Mailänder Werkstätte von A. Salmoiraghi

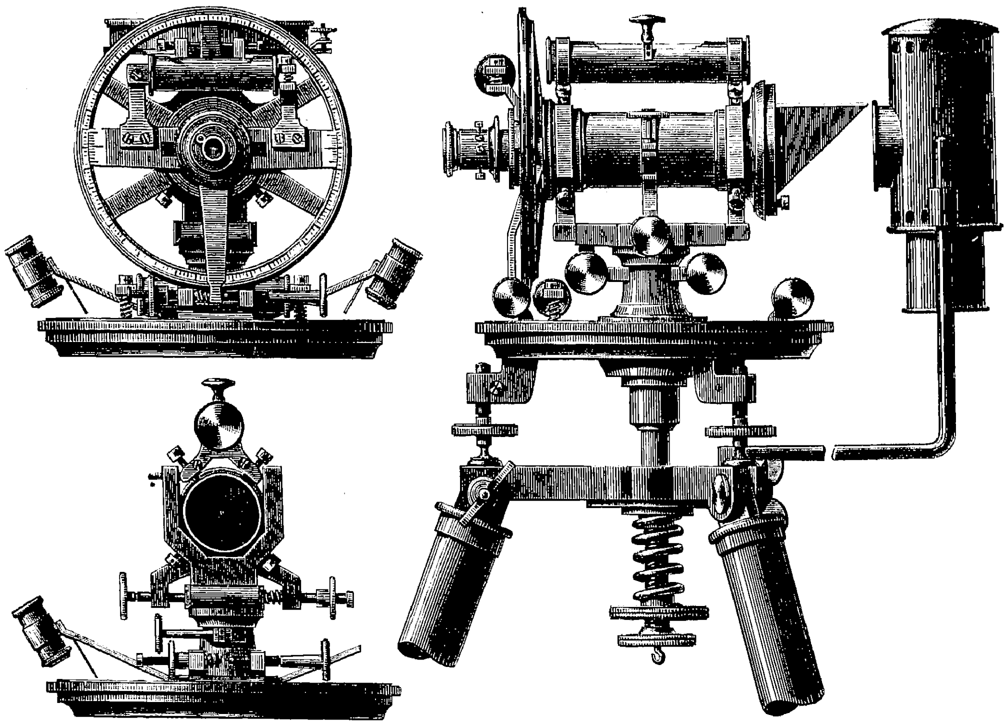


Fig. 819.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1883.)

entstammenden Instrumentes geben. Das in Fig. 823 (S. 850) dargestellte Universalinstrument ähnelt sehr denen von Bamberg oder Wanschaff, nur ist die Umlegevorrichtung anders angebracht. Die beiden das gebrochene Fernrohr aufnehmenden, den Umlegebock bildenden Pfeiler liegen dem Kubus ganz nahe, so dass sie gleichzeitig als Mittelstütze angesehen werden können. Eine solche Unterstützung scheint bei der Massentheilung auf der Horizontalaxe auch sehr am Platze zu sein, die Äquilibrirung ist damit lediglich auf die Mitte der Horizontalaxe beschränkt, ähnlich wie bei den neueren Repsold'schen Instrumenten. Die Mikroskope für den Vertikalkreis sind an der Axe befestigt und gehen beim Umlegen mit.

[1]) Der Träger dieses Niveaus ist auch ein einziges Gussstück.

Schliesslich mag noch kurz ein englischer Theodolit neuerer Konstruktion hier Erwähnung finden, wie solche von Troughton & Simms z. B. für die grossen geodätischen Operationen in Afrika gebaut worden sind. Die Fig. 824 (S. 851) stellt ein 18 zölliges Instrument dar, und gewährt einen Einblick in die in jenen Werkstätten getroffenen Anordnungen. Die Zapfen der Fernrohraxe liegen in justirbaren Lagern, welche die Enden eines U-förmigen Rahmenwerkes aus Kanonenmetall bilden; dieses ist in seiner Mitte auf einen Stahl-

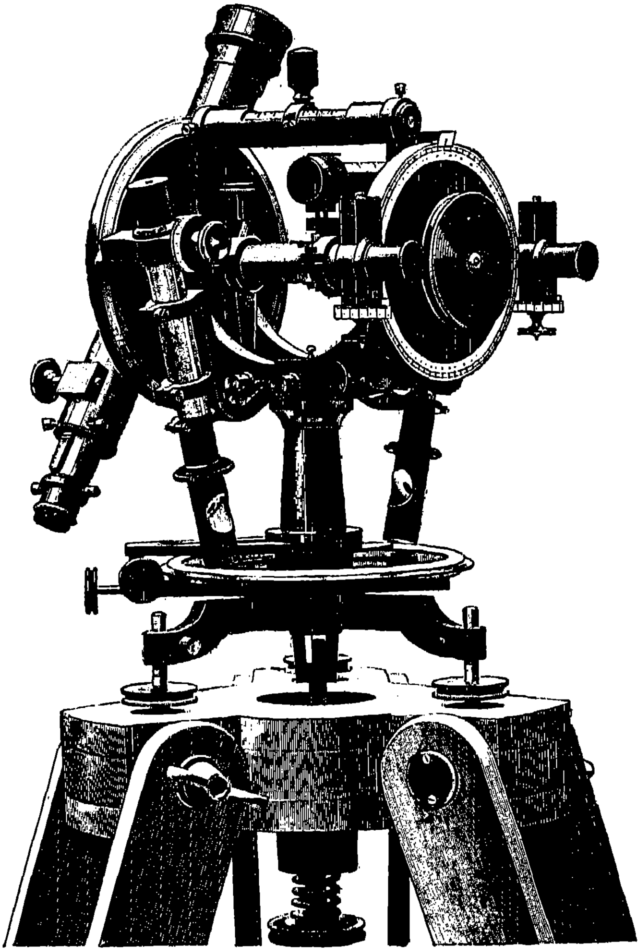


Fig. 820.

zapfen aufgesetzt, der mit dem Dreifuss D E F fest verschraubt ist. Eine starke Büchse, welche mit dem Lagerrahmen verschraubt ist, wird von diesem Zapfen getragen. Auf derselben ist zunächst der Drei-Arm A B C mit den drei Ablesemikroskopen angebracht, sodann das Klemmwerk bei K mit dem Einstellmikroskp R und den Prismen P für die Feldbeleuchtung derselben mittelst der Lampe L und der Prismen bei Q. Der getheilte Kreis und der besondere Klemmring G sind auf der oberen centralen Fläche des Dreifusses befestigt, ebenso ist an diesen das Versicherungsfernrohr H anklemmbar. Zur Cen-

trirung mittelst der Platte STV und der Schrauben WXY dient ein kleines Fernrohr Z, welches das Axensystem centrisch durchsetzt.

In den obigen Erörterungen war es mir besonders darum zu thun, die Konstruktionstypen grösserer Werkstätten bezüglich der von ihnen gebauten Universalinstrumente neben einander zu stellen, so weit mir das nöthige

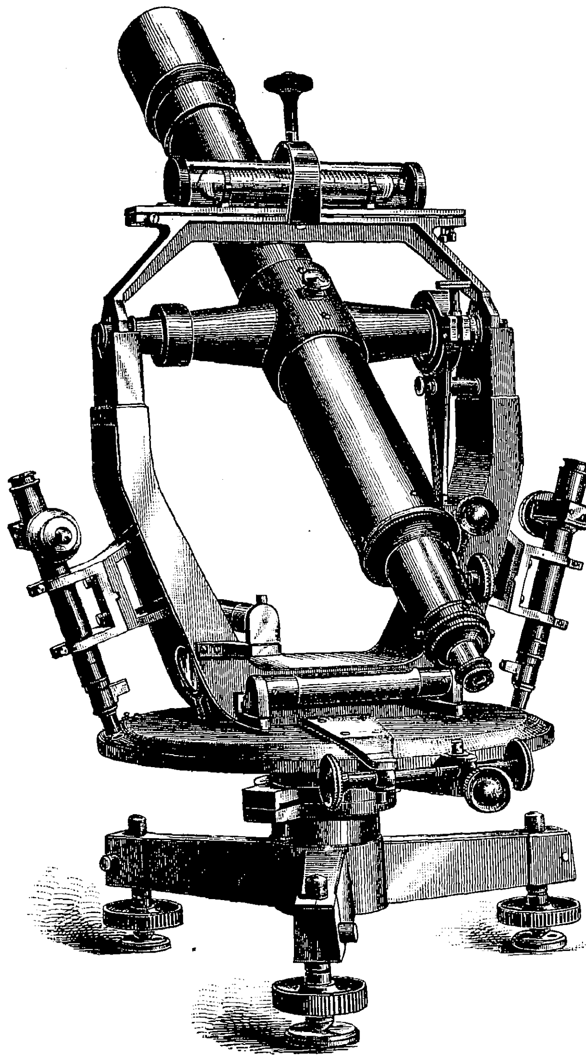


Fig. 821.

Material zur Verfügung stand.[1]) Die beigebrachten Figuren werden für den Fachmann noch manche Eigenthümlichkeiten erkennen lassen, deren eingehende Erörterung hier viel zu weit geführt haben würde, während der-

[1]) Leider sind mir aus englischen und französischen Werkstätten authentische Mittheilungen fast nicht zugekommen, sodass bezüglich des Baues von Universalen ich mich auf das hier Beigebrachte beschränken muss.

jenige, welcher sich mit der allgemeinen Bauart dieser Instrumente vertraut machen will, namentlich aus den Darstellungen, welche Querschnitte und damit die innere Einrichtung zeigen, Belehrung zu schöpfen vermag.

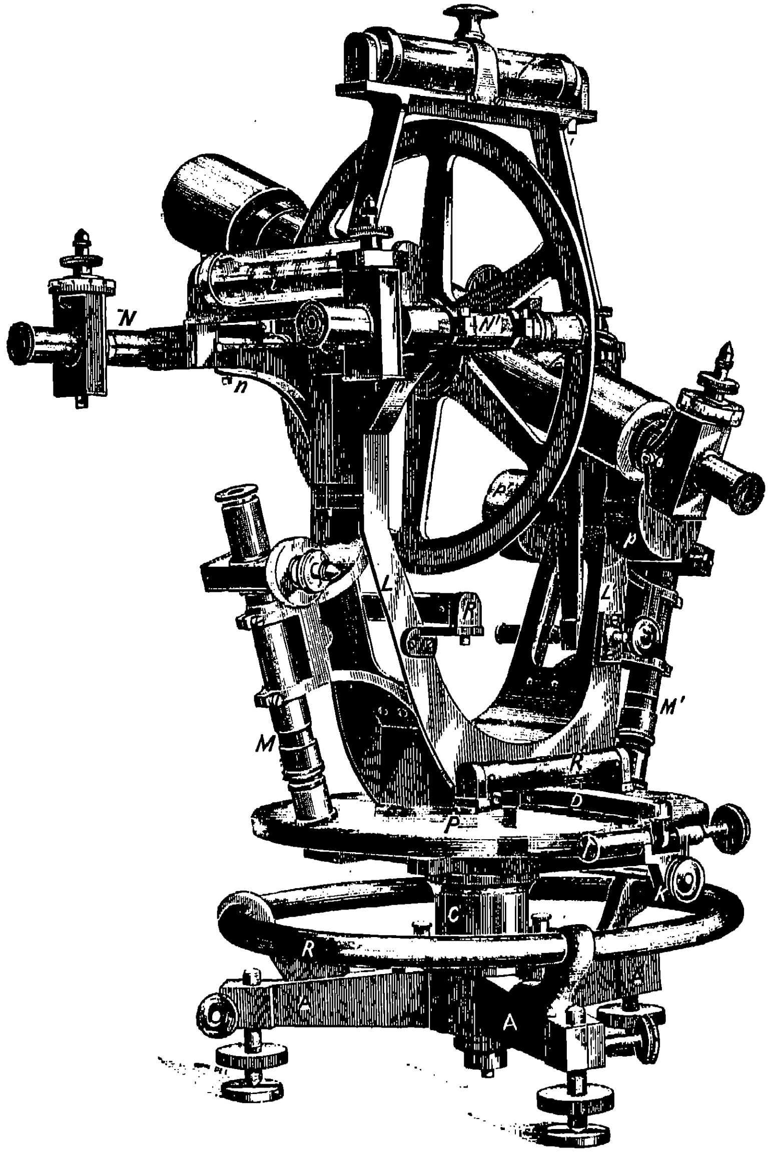


Fig. 822.

C. Prüfung und Berichtigung der Universalinstrumente, Einfluss der Instrumentalfehler auf das Beobachtungsresultat.

Bevor ich zu den grösseren und meist fest aufgestellten Arten der hier zu besprechenden Instrumente übergehe, sollen kurz die Bedingungen erörtert werden, welchen ein justirtes Universalinstrument genügen muss, und die Methoden der Prüfung derselben. Die zu erfüllenden Bedingungen sind folgende:

1. Die Vertikalaxe soll wirklich vertikal stehen.
2. Die Horizontalaxe soll wirklich horizontal und damit zugleich senkrecht zur Vertikalaxe sein.

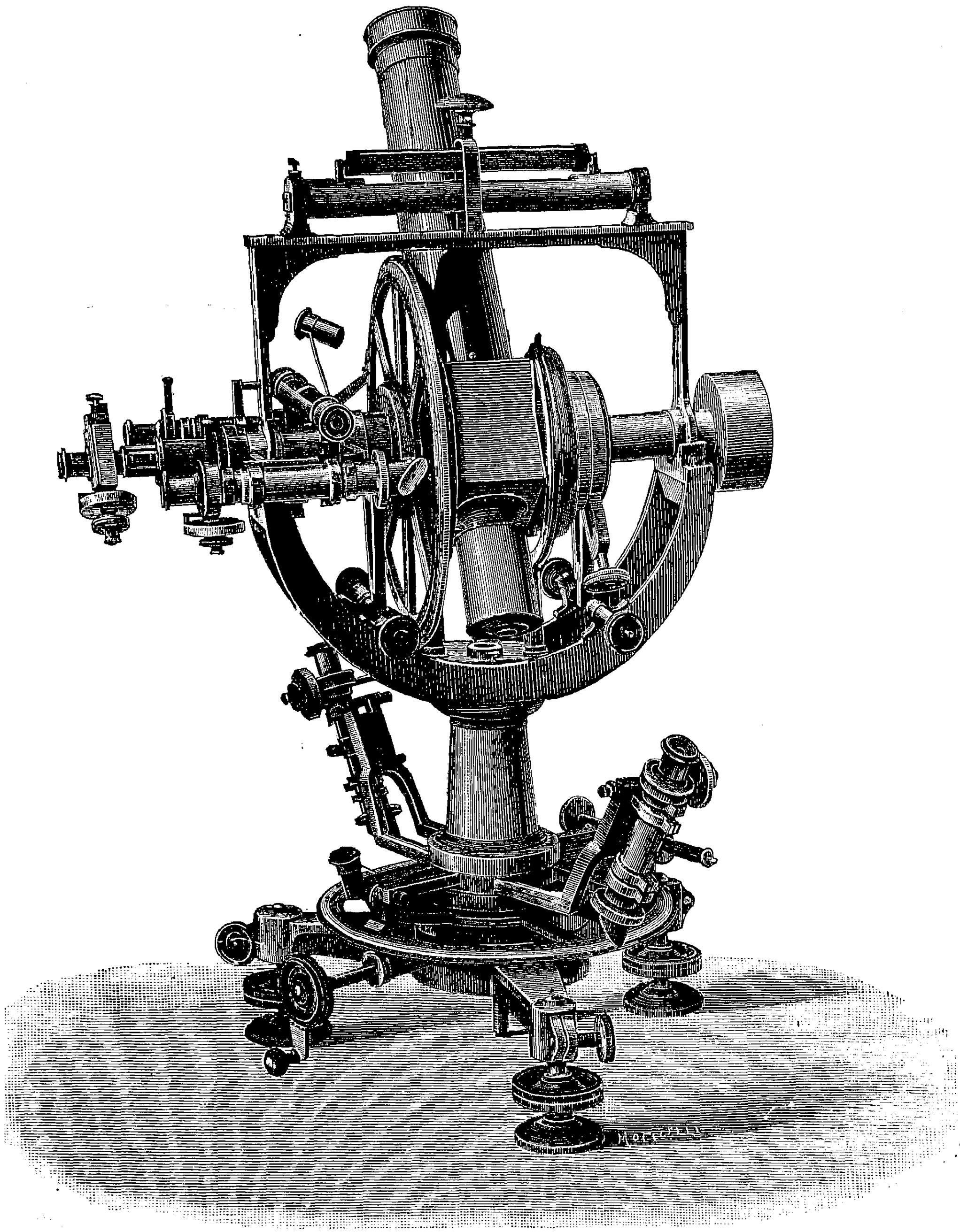


Fig. 823.

3. Die Absehenslinie muss senkrecht zur Horizontalaxe sein.
4. Die Kreisebenen müssen senkrecht auf ihren Umdrehungsaxen stehen.

5. Die Stellung der Vertikalaxe darf sich weder im horizontalen Sinne noch bezüglich ihrer Neigung zum Horizont während einer Messungsreihe ändern; denn mit ihr ist während einer solchen entweder der Horizontalkreis oder der Mikroskopträger fest verbunden.
6. Die Lage der Verbindungslinie der Nullpunkte der beiden Vertikalkreismikroskope zum Horizont darf sich beim Messen und Durchschlagen oder Umlegen der Fernrohraxe nicht oder doch nur sicher messbar ändern.

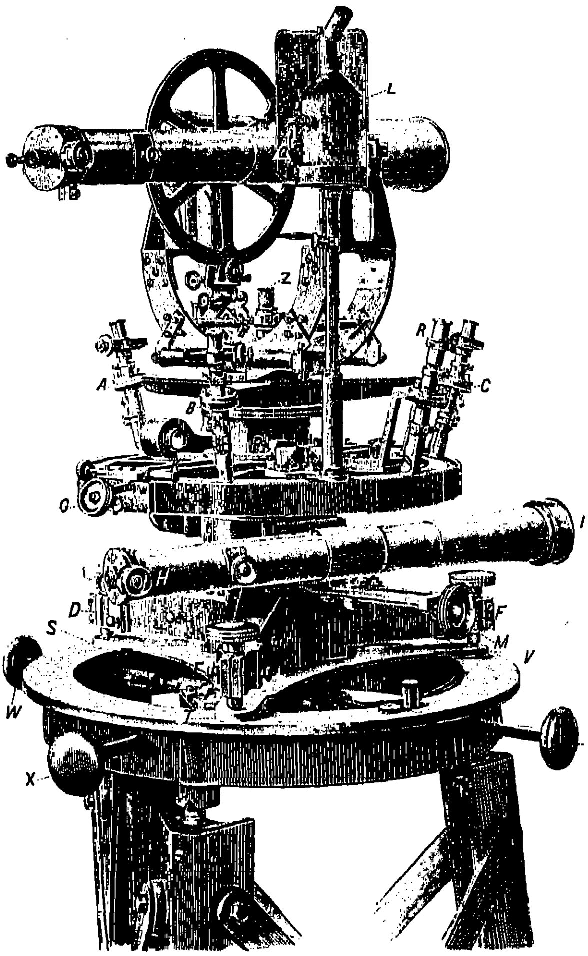


Fig. 821.

Ad 1. Die Prüfung erfolgt durch die Aufsatzlibelle oder eine andere, mit dem drehbaren Oberbau verbundene Libelle nach deren eigener Justirung dadurch, dass bei Drehung des Obertheiles eine konstante Stellung der Blase erzielt wird. (Auch wenn die Blase nicht in der Mitte des Niveaus sich befindet, aber doch beim Drehen des Obertheils genau ihren Platz innehält, ist die Vertikalaxe vertikal, nur die Libellenaxe ist noch nicht senkrecht darauf.)

Ad 2. Die Prüfung dieser Bedingung kann auf verschiedene Weise er-

folgen, je nachdem dazu die Hülfsmittel ausreichen. Am einfachsten geschieht es durch das Axenniveau, nachdem die erste Bedingung erfüllt ist.

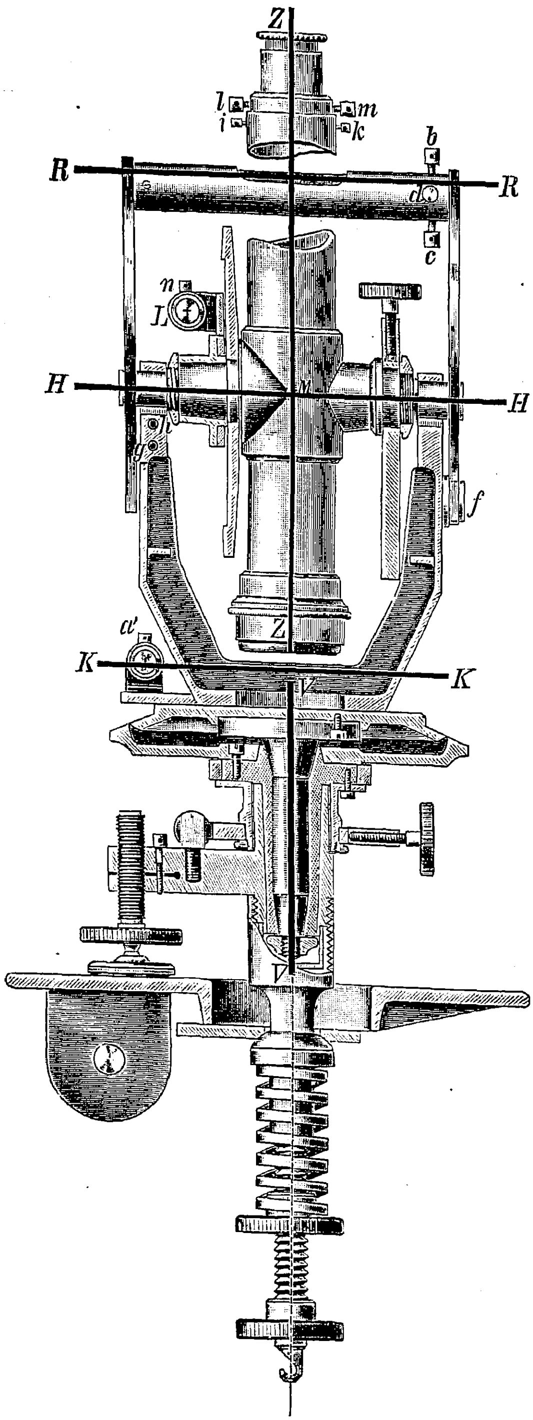


Fig. 825.

Durch Umsetzen des Axenniveaus auf den Zapfen der Horizontalaxe wird sich gleichzeitig ergeben, ob das Niveau justirt ist (vergl. S. 75) und ob die Axe für die gegebene Stellung des Instruments horizontal ist. Die halbe Änderung der Blasenstellung wird die noch vorhandene Neigung anzeigen; die Lage der Blase zur Niveaumitte muss also in beiden Lagen dieselbe sein. Diese Prüfung ist in mindestens zwei auf einander senkrechten Azimuthen auszuführen; denn erst dann wird die Fläche, welche die Horizontalaxe bei azimuthaler Drehung beschreibt eine Ebene und parallel zum Horizont sein. Dabei ist aber zu beachten, dass mittelst des Niveaus nicht die Lage der geometrischen Axe geprüft wird, sondern dabei noch die Zapfendurchmesser eine Rolle spielen. Um deren Einfluss zu eliminiren, ist die Umlegung der Horizontalaxe in den Lagern erforderlich; man erhält aus den in beiden Lagen gemachten Nivellirungen zugleich die Grösse dieser sogenannten Zapfenungleichheit. Um die Bedingung H H $\perp$ V V, Fig. 825, herzustellen, ist gewöhnlich das eine Axenlager in Höhe korrigirbar.

Ad 3. Ob die Absehenslinie des Fernrohrs Z Z senkrecht zu H H steht, lässt sich dadurch am einfachsten finden, dass man auf ein sehr entfern-

tes, möglichst im Horizont gelegenes Objekt einstellt, sodann den Horizontalkreis abliest, das Fernrohr durchschlägt oder in den Lagern umlegt und wieder auf das Objekt einstellt. In beiden Fällen muss die Vernierablesung, wenn das Fernrohr centrisch gelegen ist, dieselbe sein. Ist das Fernrohr excentrisch, so muss der Unterschied gleich sein dem Winkel, unter welchem die Entfernung d zwischen beiden Fernrohrlagen vom Objekte aus erscheinen würde. Nennt man die Entfernung des Objekts s, welche man mit genügender Genauigkeit aus einer Specialkarte entnehmen kann, so ist dieser Winkel $206\,265\,\frac{d}{s}$ in Bogensekunden.

Ist das Fernrohr mit einem Okularmikrometer versehen, so lässt sich eine nach der Umlegung auftretende Abweichung mittelst des beweglichen Fadens leicht messen, und man findet auf diese Weise unmittelbar den Betrag dieses „Kollimationsfehlers".[1]) Kann man das Fernrohr genau nach unten richten und unter das Objektiv desselben einen Quecksilberhorizont stellen, so wird bei geeigneter Beleuchtung des Fadennetzes ein Kollimationsfehler sich durch Nichtzusammenfallen des Vertikalmittelfadens mit seinem Spiegelbilde zu erkennen geben; doch kann das auch durch einen Fehler in der Neigung der Horizontalaxe bewirkt werden. Beide Ursachen lassen sich nur dadurch trennen, dass man die Distanz zwischen Mittelfaden und Spiegelbild sowohl bei „Fernrohr rechts" als auch bei „Fernrohr links" misst.[2]) Die halbe Differenz der in beiden Lagen gemessenen Abstände giebt dann den Kollimationsfehler, während man aus der halben Summe die Neigung der Horizontalaxe erhält, also eine Prüfung der 2. Bedingung.

Ad 4. Diese Bedingung muss vom Mechaniker erfüllt werden; eine unrichtige Stellung des Kreises wird sich bei mikroskopischer Ablesung sofort durch die an verschiedenen Kreisstellen verschiedene Deutlichkeit der Bilder und namentlich durch verschiedene Werthe für einen Umgang der Schraube (Gangfehler, Run) erkennen lassen. Nur durch Abnahme der Kreise und geeignetes Nachdrehen oder sorgfältig abgepasste Unterlage von Stanniolblättchen lässt sich diesem Fehler abhelfen.[3])

Ad 5. Diese Bedingung wird am besten erfüllt durch einen stabilen, verhältnissmässig schweren Unterbau und eine gute Verbindung zwischen Vertikalaxe und Dreifuss, durch mässige Reibung zwischen Axe und Büchse des Vertikalsystems. An manchen älteren und einigen der neueren Instrumenten, bei welchen neben der Messung von Zenithdistanzen auch ein besonderes Gewicht auf Azimuthwinkel gelegt wird, ist zur Prüfung der Unveränderlichkeit des Unterbaus während einer Messungsreihe an diesem in irgend einer Weise

[1]) Früher nannte man meist die Abweichung einer Vernierablesung von der Sollstellung, also die Abweichung der Kreisnullpunkte vom Horizont-, Zenith- oder Äquatorpunkt, den Kollimationsfehler; jetzt pflegt man aber den obigen Sinn damit zu verbinden, und nennt die hier angedeutete Abweichung „Indexfehler".

[2]) Vergl. dazu das auf Seite 311 über diese Bestimmung Gesagte.

[3]) Bei starker Abweichung, welche überhaupt nur verderblich wirken kann, bei der aber auch eine genaue Ablesung unmöglich ist, würde man eigentlich die Projektion der Drehungswinkel der Abscheuslinie auf die betreffende Kreisebene messen und nicht diese selbst.

ein Versicherungsfernrohr besonders befestigt; vergl. die Fig. 791 u. 818. Die Messung der betreffenden Winkel bei entgegengesetzter Drehung ist ebenfalls ein Mittel, um dieselben von kleinen Störungen in diesem Sinne frei zu machen. Man hat namentlich, um die kleinen Drehungen in azimuthaler Richtung zu vermeiden, die mit doppelten Axensystemen versehenen Repetitionskreise in neuer Zeit nicht mehr zur Anwendung gebracht.[1])

Ad 6. Zur Sicherung der Lage des Trägers der Mikroskope für den Vertikalkreis, mögen dieselben nun auf der Horizontalaxe mittelst Büchse und Rahmen sitzen oder an dem Lagerbocke befestigt sein, ist ein der Ablesungsgenauigkeit entsprechendes empfindliches Niveau L so an ersterem angebracht, dass es gegen die Verbindungslinie der Nullpunkte etwas korrigirt werden kann. Diese Korrektur muss so erfolgen, dass die Blasenstellung bei Drehung des Instruments um die Vertikalaxe sehr nahe konstant bleibt, damit ist zugleich die Niveauaxe senkrecht zur Vertikalaxe gestellt, aber für die Nullpunktslinie ist das damit noch nicht erreicht; das ist jedoch auch nicht nöthig, denn von dieser wird nur verlangt, dass sie bei jeder Ablesung dieselbe Neigung zum Horizont hat. Gleiche Niveauablesung bei konstanter Verbindung mit den Mikroskopträgern wird aber diese Forderung garantiren, also eventuell die Abweichung dieser Linie von einer gewissen Normallage zu messen und in Rechnung zu bringen gestatten.[2])

Je sicherer während der verschiedenen Bewegungen des Instruments die Lage der Niveauaxe und mit ihr die der Mikroskopnullpunkte gewahrt bleiben, desto besser eignet sich das Instrument zur Messung von Vertikalwinkeln. Die von der horizontalen Umdrehungsaxe unabhängigen Mikroskope sind daher, wie schon oben mehrfach betont, für Vertikalwinkelmessungen unbedingt vorzuziehen.

Da in der astronomischen Praxis absolut richtige Instrumente nicht zur Anwendung gelangen können, muss man Mittel besitzen, die Fehler auch ihrer Grösse nach bestimmen und in Rechnung ziehen zu können.

Sowohl bei der Messung von Zenithdistanzen als auch bei der Bestimmung von Azimuthdifferenzen handelt es sich im Wesentlichen (soweit das Instrument in Frage kommt) um diejenigen Fehler, welche durch eine Abweichung der Stellung der Horizontalaxe von der wirklich horizontalen Lage bedingt werden (der Neigung) und um den oben näher erläuterten Kollimationsfehler. Eine Abweichung der Vertikalaxe von der Lothrichtung würde sich für jeden Fall nur durch die in verschiedenen Azimuthen verschiedene Neigung aussprechen und dadurch Einfluss gewinnen, während bei azimuthaler Winkelmessung eine geringe Abweichung des Horizontalkreises von der Ebene des Horizonts nur einen sehr geringen Einfluss auf die Resultate hat.

---

[1]) Die eingehende Erörterung dieser Frage würde hier zu weit führen, ich verweise dieserhalb z. B. auf die betreffenden Kapitel in Jordan's Elementen der Vermessungskunde.

[2]) Man pflegt die Niveaus der Mikroskopträger im Gegensatz zu den Axenniveaus gewöhnlich von der Mitte aus zu beziffern und die eine Seite als positiv, die andere als negativ zu bezeichnen. Dies hat dann nach den auf S. 67 erläuterten Grundsätzen zu geschehen.

Stellt in Fig. 826 HH die Ebene des Horizonts, Z das Zenith dar, und weiterhin Z′ den Punkt der Sphäre, in dem die instrumentelle Vertikalaxe dieselbe trifft (ZZ′ = i), H′H′ die Ebene des Horizontalkreises, AM die Lage der Horizontalaxe zur Zeit der Beobachtung (AZ = 90° — b), und bedeutet AZ′ = 90° — i′ den Winkel zwischen Vertikalaxe und Horizontalkreis, und setzt man ferner A′ZA = a und A′Z′A = a′, während O der Ort des Gestirns ist, so folgen aus dem Dreieck AZZ′ die Gleichungen:

$$\sin b = \cos a' \cos i' \sin i + \sin i' \cos i$$
$$\cos b \cos a = \cos a' \cos i' \cos i - \sin i' \sin i$$
$$\cos b \sin a = \sin a' \cos i.$$

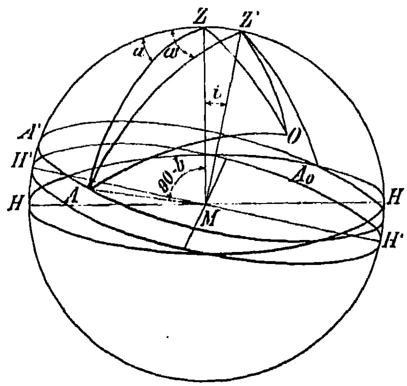


Fig. 826.

Da b, i und i′ bei einem sehr nahe berichtigten Instrumente nur sehr kleine Winkel sein können, so wird man deren Sinus gleich dem Bogen und deren Cosinus gleich 1 setzen können und erhält sofort mit der nöthigen Annäherung

$$a = a',$$

d. h. die Vertikalaxe wird ohne Weiteres als senkrecht auf den Horizontalkreis und A als mit A′ zusammenfallend angenommen werden können.

Weiterhin folgt:

$$b = i \cos a' + i'$$
$$= i \cos a + i'.$$

Die durch das Niveau in der jedesmaligen Lage der Horizontalaxe gefundene Grösse b setzt sich also aus den beiden Grössen i und i′ in der hier gegebenen Weise zusammen, wozu eventuell noch die Zapfenungleichheit kommt.

Weiterhin erhält man aus dem Dreieck AZO, wenn AZO′ = α + 90° — a gesetzt wird, wo α der Azimuthunterschied zwischen O und demjenigen Punkt des Horizontalkreises A_0 ist, dessen Radius im Horizont liegt, und wenn ferner AO = 90° + c (c Kollimationsfehler des Fernrohres), AZ = 90 — b und z = ZO die Zenithdistanz des Gestirns ist:

$$-\sin c = \sin b \cos z - \cos b \sin z \sin (\alpha - a),$$

und da c und b sehr kleine Winkel

$$\sin (\alpha - a) = b \operatorname{cotg} z + c \operatorname{cosec} . z.$$

Da aber auch α und a entweder nahe gleich sind oder ihre Differenz nahe

180^0 beträgt, so kann auch sin $(\alpha - a)$ sehr nahe gleich $\pm(\alpha - a)$ gesetzt werden, und man hat dann für die eine Kreislage:

$$\alpha = a + b \operatorname{cotg} z + c \operatorname{cosec} z$$

und für die andere: $\alpha = 180^0 + a - b \operatorname{cotg} z - \operatorname{cosec} z$.

Wird also in der einen Kreislage 180^0 zur Ablesung addirt resp. davon subtrahirt, so hat man allgemein

$$\alpha = a \pm b \operatorname{cotg} z \pm c \operatorname{cosec} z \begin{cases} \text{Kr. links,} \\ \text{Kr. rechts.} \end{cases}$$

Da es nun, wie schon mehrfach erwähnt, nur auf die Azimuthdifferenz ankommt, und für dieselbe Aufstellung des Instruments a dasselbe bleibt, so hat man für zwei verschiedene Objekte, wenn α und α' die Kreisablesungen sind, als Azimuthdifferenz A_0:

$$A_0 = \alpha - \alpha' - b(\operatorname{cotg} z \mp \operatorname{cotg} z') - c(\operatorname{cosec} z \mp \operatorname{cosec} z'),$$

wo Z und Z' die den beiden Objekten zugehörigen Zenithdistanzen sind.

Dabei ist noch für die Wahl der Vorzeichen darauf zu achten, ob sich der Horizontalkeis oder die Mikroskopträger mit dem Fernrohr drehen.

Durch eine ganz ähnliche Betrachtung wie die oben ausführlich mitgetheilte, nur mit Auflösung des Dreiecks AZO in Bezug auf $ZO = z$ findet man, dass die Zenithdistanz z durch b und c in der Weise beeinflusst wird, dass zu der bei fehlerhaften Instrumenten gemessenen Zenithdistanz z' der Ausdruck

$$\left(\frac{c+b}{2}\right)^2 \sin 1'' \operatorname{cotg} \frac{1}{2} z' - \left(\frac{c-b}{2}\right)^2 \sin 1'' \operatorname{tg} \frac{1}{2} z'$$

hinzuzufügen ist, um z selbst zu erhalten. Dabei ist zu bemerken, dass zur Auffindung von z' die Einstellung in zwei Lagen des Instruments nöthig ist, da die Differenz der beiden Ablesungen gleich $z_1 - z_2 = 2z'$ und die halbe Summe $\frac{1}{2}(z_1 + z_2)$ gleich der Ablesung für den Zenithpunkt Z_0 ist.[1])

Diese Angabe des Kreises für Zenithstellung des Fernrohrs braucht man für etwaige einseitige Zenithdistanzen und bei Objekten mit Ortsveränderung, also bei Gestirnen zur Berechnung der Refraktion. Will man also vermeiden, dass bei Gestirnbeobachtungen eine doppelte Rechnung nöthig wird, so ist es zu empfehlen, auch immer noch ein festes Objekt in beiden Lagen mit einzustellen, so dass dadurch der Zenithpunkt mit der nöthigen Genauigkeit gefunden wird.

2. Altazimuthe.

Auch in grossen Dimensionen hat man den eben besprochenen Universalen ähnliche Instrumente ausgeführt, welche aber schon zu den fest aufgestellten zu rechnen sind. Ein solches pflegt man (wenigstens in Deutschland) speciell mit dem Namen Altazimuth zu bezeichnen. Als erstes derartiges Instrument

[1]) Betreffs einer sehr zweckmässig geordneten Übersicht über den Einfluss der Instrumentalfehler verweise ich hier besonders auf Albrecht, Hülfstafeln zur Geogr. Ortsbestimmung u. s. w. 3. Aufl., S. 189. Ein für den praktischen Astronomen nahezu unentbehrliches Buch.

der neueren Zeit dürfte das im Jahre 1847 für Greenwich gebaute anzuführen sein.[1]) Fig. 827 stellt die Gesammtansicht dieses Instruments dar, während die Fig. 828—830 Einzelheiten zur Erläuterung der Konstruktion desselben zeigen. Es wurde in den Jahren 1845—1847 nach den Anordnungen Sir G. B. AIRY's in seinen gröberen Theilen von Mrs. RANSOMES & MAY

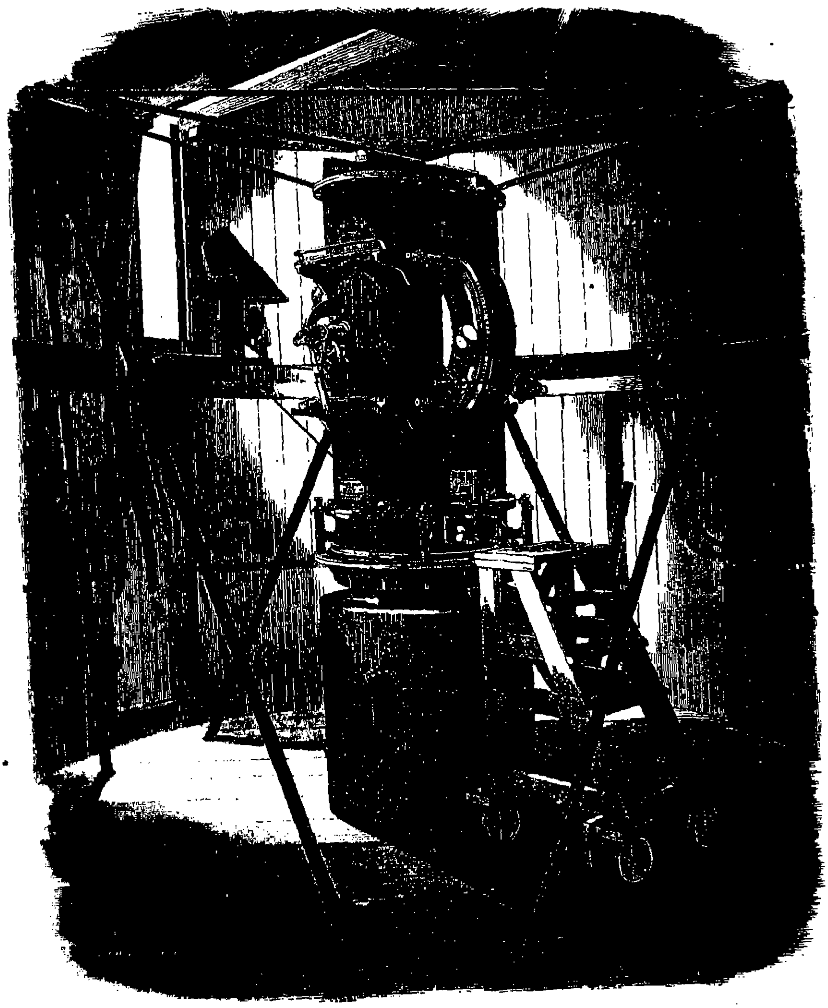


Fig. 827.
(Nach Greenwich Observations 1867.)

in Ipswich und in den feinen und optischen Theilen von TROUGHTON & SIMMS in London gebaut. Zur damaligen Zeit galt es als ein unübertreffliches Kunstwerk seiner Art.

Auf einem starken in drei Flügel BBB, Fig. 828, auslaufenden Unter-

[1]) Einige ältere Instrumente haben schon nahezu dieselbe Einrichtung, doch waren sie namentlich zur Messung von Zenithdistanzen nur in der Nähe des Meridians ähnlich den Quadranten bestimmt.

bau A ruht ein zweiter Cylinder C aus Backsteinmauerwerk, welcher isolirt aus dem Fussboden des Beobachtungsraumes heraustritt und der zur Aufnahme des Instruments dient. Das auf der Oberfläche von A und B B B ruhende Rahmenwerk G G dient zur Aufnahme des Zapfens des den Vertikalkreis tragenden Oberbaues in dem Lager bei N. Auf dem Pfeiler C ruht zunächst ein Untergestell O, welches mit dem unteren festen Kreis P aus einem Stücke besteht. Die Fig. 829 u. 830 stellen dieses im Einzelnen dar. Der Grundkreis trägt bei Q die Theilung und bei R einen Zahnkranz, welcher vermittelst des im Obertheil laufenden Triebes X zur Feinbewegung des letzteren dient.

Die Fig. 831 ist eine schematische Darstellung des eigentlichen Instruments, sie lässt die Einzelheiten der Konstruktion sehr wohl erkennen. Die durch die beiden cylindrischen Scheiben g und S miteinander verbundenen

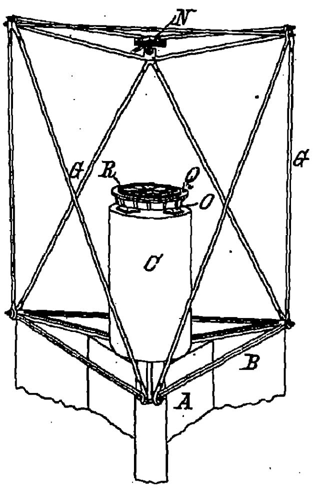


Fig. 828.

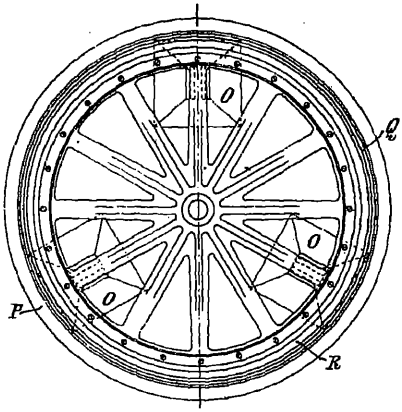


Fig. 829.

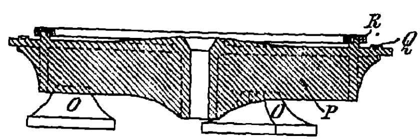


Fig. 830.

Ständer O O von nahe halbkreisförmigem Querschnitt schliessen zwischen sich das in den starken Ring K eingebettete Fernrohr F. Der Ring K ist durch starke Speichen mit der horizontalen Umdrehungsaxe verbunden, welche aus zwei Theilen besteht, zwischen denen das Fernrohr hindurchgeht. Die Zapfen der Horizontalaxe ruhen in den an den Aussenseiten der Ständer O O befestigten Lagern r r. An dem einen der Ständer sind die vier Ablesemikroskope b b befestigt und ausserdem noch eine Anzahl Spiegel s s s, durch welche das Gesichtsfeld und die Trommeln der Mikroskope und die Libellen von der Lampe A (später durch Gas ersetzt) beleuchtet werden. Das Mikrometer und die Mire bei u u dienen zur Bestimmung der Lage der Horizontalaxe bezw. zur Untersuchung des Zapfens.[1] Der Horizontalkreis wird durch

[1]) Vergl. S. 288.

die an dem Ringe S befestigten Mikroskope T T abgelesen. Zwischen den beiden nach Innen durch zwei durchbrochene Platten n n verstärkten Ständern liegt noch die Libelle z zur Kontrole der Vertikalaxe, die durch zwei Zapfen

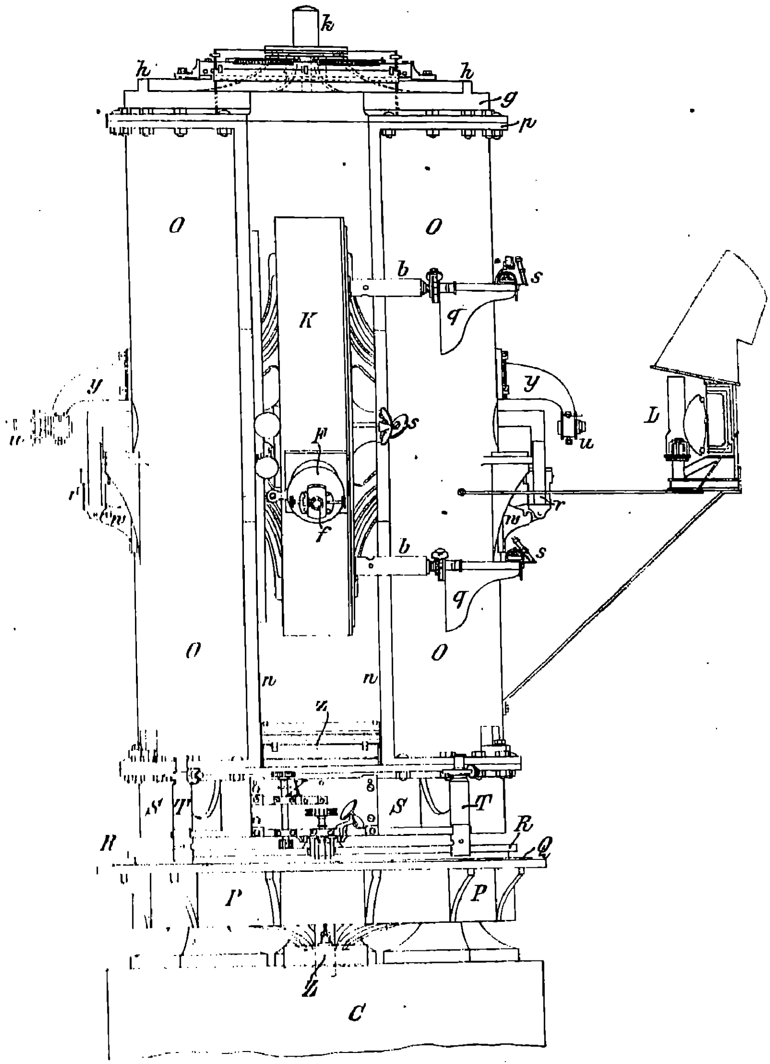


Fig. 831.

repräsentirt wird, von denen der eine an P befestigt ist, der andere k mit der Platte gh in Verbindung steht und wie schon erwähnt in dem Lager N seine Führung erhält.

Das Fernrohr und das Okularende selbst bestehen aus Messing, während Objektivkopf und Okularring aus Kanonenmetall gegossen sind. Die Theilung geht sowohl beim Vertikalkreis als auch beim Horizontalkreis bis zu einem Intervall von 5 Minuten.

Es ist nicht zu verkennen, dass dieses ganze Instrument, welches ein Gewicht von über 2500 engl. Pfd. hat, ziemlich komplicirt ist, bezüglich dessen

eingehender Beschreibung aber auf das Original verwiesen werden muss.[1]) Bis vor wenigen Jahren hat dasselbe, nachdem alle seine Theile genau untersucht waren, zur Beobachtung, namentlich des Mondes ausserhalb des Meridians gedient. Doch war die Beobachtung mit demselben, wollte man die äusserste Genauigkeit erreichen, sehr umständlich wegen der Mühe, die besonders mit der Bestimmung der Nullpunkte der Kreise, speciell des Azimuthkreises verbunden war. Man hatte zu diesem Zweck einige Marken, so z. B. die Spitze einer Kirche gewählt und deren Azimuth immer wieder kontrolirt. Es ist aus diesen Gründen nicht zu verwundern, dass man lange davon abstand, für andere Observatorien ähnliche Instrumente zu bauen. Erst in den 70er Jahren ist nach anderen Principien und in erheblich einfacherer Weise ein Altazimuth für die Strassburger Sternwarte nach WINNECKE's und REPSOLD's Plänen in der Hamburger Werkstätte gebaut worden.[2])

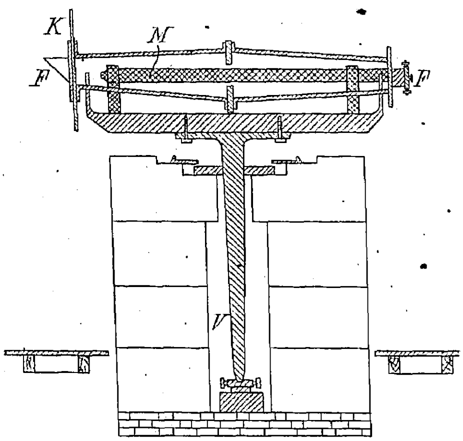


Fig. 832.

Eine Ansicht dieses äusserst elegant gebauten Instruments stellt Fig. 833 dar. Eine genauere Beschreibung namentlich bezüglich der einzelnen Abmessungen desselben ist bis jetzt nicht gegeben. Die folgenden Daten stützen sich daher namentlich auf das, was vor einiger Zeit Prof. W. SCHUR in den Astron. Nachr. darüber bekannt gemacht hat.[3])

Es hatten sich anfangs einige Bedenken bezüglich der Stabilität des Instruments, d. h. der Konstanz der Instrumentalfehler ergeben; dieselben

---

[1]) Vergl. Greenwich Observations 1867. Es mag die kurze Beschreibung hier um so mehr genügen, als das Instrument sich gegenwärtig wohl nicht mehr in Benutzung befindet.

[2]) Es sei hier noch auf das von Mr. Carrington für sein Observatorium zu Churt, Surrey, bestimmte Instrument hingewiesen, welches die Fig. 832 (Monthly Notices, Bd. XXX, S. 45) zeigt. Er sagt darüber an dem angeführten Orte: „Der optische Theil besteht aus einem Fernrohre F, welches um seine optische Axe drehbar in Lagern liegt, die auf einer Grundplatte befestigt sind, und diese ist ihrerseits im Centrum um eine lange, vertikale Axe V drehbar, welche in der centralen Höhlung eines Steinfundamentes in einem horizontalen Lager ruht und am oberen Theil der Höhlung durch eine Ringplatte in vertikaler Lage erhalten und geführt wird. Das Fernrohr, welches vor dem Objektiv ein rechtwinkliges Prisma nach Steinheil's Vorschlag trägt, hat 6 Zoll Öffnung und 6 Fuss 3 Zoll Brennweite, ist also von bedeutenden Dimensionen. Durch Drehung um die Vertikalaxe und durch Bewegung um die optische Axe wird die Einstellung in Azimuth und in Höhe bewirkt. Die Winkelmessung in diesen Ebenen geschieht mittelst zweier Vollkreise von 30 Zoll Durchmesser, von denen der eine über der die Vertikalaxe führenden Ringplatte liegt und der andere K sich am Objektivende des Fernrohrs befindet und vom Okularende aus durch zwei diametrale, längs der Fernrohraxe gelagerte Mikrometermikroskope M abgelesen wird. Das Ganze bildet, abgesehen von den Nachtheilen, welche das Objektivprisma mit sich bringt, gewiss eine recht stabile Altazimutheinrichtung.

[3]) Astron. Nachr., Bd. 120, S. 1.

scheinen aber später vollständig gehoben worden zu sein, da in den letzten Jahren das Instrument namentlich zur Bestimmung der Breitenschwankungen benutzt worden ist und gute Resultate ergeben hat.[1])

Auf einem cylindrischen Sandsteinblock, welcher in dem nördlichen Thurme des Strassburger Meridianbaues auf den später in seiner Konstruktion näher erläuterten Pfeiler aufgesetzt ist, ruht zunächst ein schwerer, eiserner Ring (1), auf diesem vermittelst dreier Fussschrauben (2) ein mehrfach durchbrochener Cylinder (3) von etwa 0,8 m Durchmesser und 0,35 m Höhe. Dieser ist auf seiner oberen Fläche bei (4) genau plan abgeschliffen, so dass also die durch diese Ringfläche bestimmte Ebene genau horizontirt werden kann. Ein zweiter Cylinder (5) von ähnlicher Konstruktion und gleichem Durchmesser, aber etwas geringerer Höhe ruht mit einem System von Rollen auf der Planfläche von (4). Diese dienen zu grösseren Bewegungen des Obertheils, während dieselben bei kleineren Bewegungen durch Hebeleinrichtungen ausser Thätigkeit gesetzt werden können. Auf (5) befinden sich die Lager für die horizontale Umdrehungsaxe des Fernrohrs (7). Ausserdem sind an demselben noch die vier Ablesemikroskope (8) für den Vertikalkreis (9) und vier solche (10) für den Horizontalkreis (11) befestigt. Das Fernrohr ist an dem einen Axenende und der Vertikalkreis an dem anderen angebracht. Der Horizontalkreis (11) befindet sich, wie die Figur erkennen lässt, innerhalb des Cylinders (5) und ist mit seinem Limbus nach unten gerichtet. Die erwähnten Ablesemikroskope für beide Kreise sind mit Prismeneinrichtungen versehen, um die Ablesungen in bequemer Kopfstellung ausführen zu können. Die Kreise sind beide von 2 zu 2 Minuten getheilt und von 0 bis 360° beziffert. Die Mikroskopmikrometerschrauben gestatten, da zwei Umdrehungen auf ein Theilintervall gehen, bei 60-Theilung ihrer Trommeln je 1 Bogensekunde direkt abzulesen. Zur Einstellung dienen je zwei um $1^1/_2$ Umdrehungen entfernte Fadenpaare.[2]) Für jede Lage der Horizontalaxe sind zwei besondere Mikroskope für den Vertikalkreis vorhanden, damit werden die Beobachtungen in beiden Kreislagen von einander unabhängig und können nur durch jedesmalige Bestimmung des Nadirpunktes des Kreises auf die Vertikale bezogen werden. Zu diesen Nadirbestimmungen, die also streng genommen bei jeder Höhenmessung in beiden Fernrohrlagen ausgeführt werden müssen, dient die Quecksilberschale (12), welche sich leicht an jeder Stelle des Ringes unter (1) festklemmen lässt. Das Fernrohr (7) hat 0,13 m freie Öffnung bei 1,3 m Brennweite. Der Okularkopf enthält 19 vertikale und 11 horizontale feste Fäden; mittelst zweier Mikrometerschlitten können noch fünf horizontale und ein vertikaler beweglicher Faden über jene hinweggeführt werden. Die Trommeln der Mikrometerschrauben sind in je 100 Theile getheilt. Die Beleuchtung der Fäden, welche sowohl dunkel im hellen Felde als hell im dunklen Felde erscheinen können, wird mittelst der grossen Lampe, welche sich in der Umhüllung (13) befindet, bewirkt. Diese einzige Lampe dient auch zur Be-

[1]) Astron. Nachr., Bd. 120, S. 1. Dort befinden sich auch die näheren Angaben über das eingehaltene Beobachtungsverfahren; ferner Bd. 134, S. 271.

[2]) Vergl. das Kapitel über die Ablesemikroskope.

leuchtung aller übrigen Stellen des Instruments, an welchen eine Ablesung nöthig ist (Theilung, Mikrometertrommeln, Niveauskalen). Ebenso beleuchtete dieselbe auch mittelst der grossen Sammellinsen bei (14) die beiden zur Kontrole des Azimuths dienenden Miren. Die Neigung der Horizontalaxe wird mittelst des Niveaus (15) bestimmt, dessen Skala durch das Fernrohr (16) abgelesen

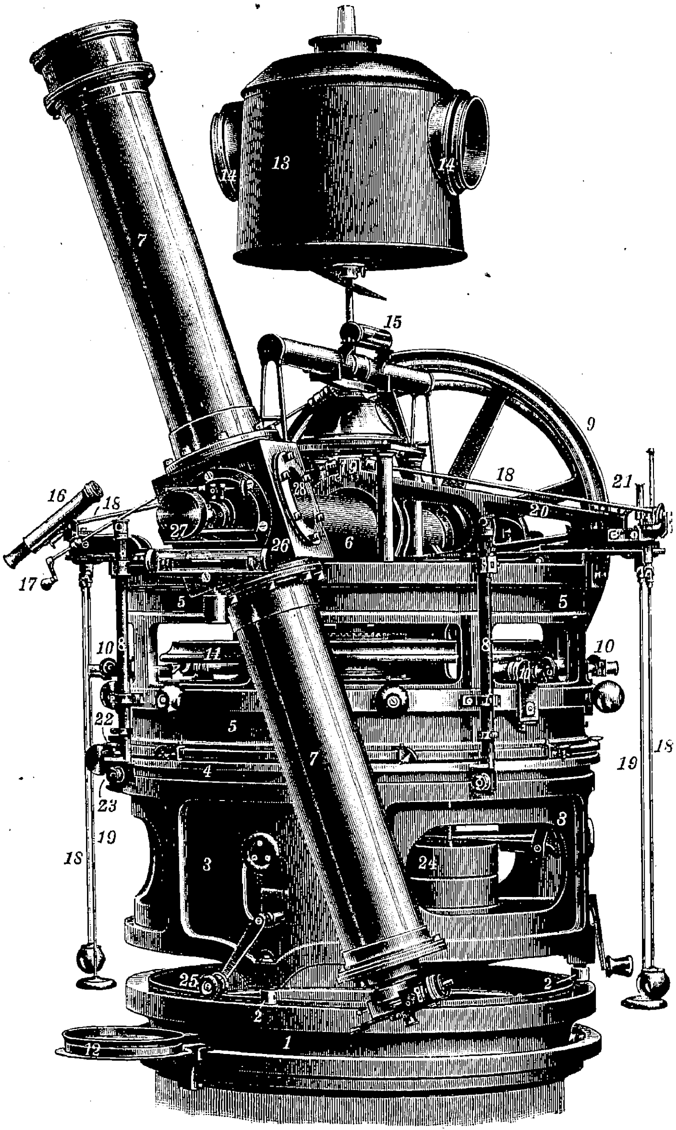


Fig. 833.

werden kann. Die Umsetzung des Niveaus auf der Horizontalaxe erfolgt durch eine sinnreiche Räderübertragung, ohne dasselbe zu berühren, mittelst der Kurbel bei (17). Die Klemmung der Horizontalaxe kann ebenso wie die Feinbewegung von zwei diametralen Stellen aus erfolgen, nämlich die erstere durch das Gestänge (18) und die Ringklemme bei (19), die Feinbewegung aber durch die

zu letzterer gehörige Stange (19), welche auf das Ende des Klemmansatzes (20) einem Federbolzen (21) entgegenwirkt. Die Feinbewegung um die Vertikalaxe kann nur an einer Stelle bei (22) und durch die Feinschraube (23) bewirkt werden. Das genügt deshalb, weil man während der Beobachtung eines Gestirns eine Bewegung im Azimuth nicht mehr vornimmt, sondern nur vor dem Antritt des Sterns an die Fäden dem Instrumente eine solche Stellung giebt, dass der Durchgang des Gestirns möglichst central erfolgt.

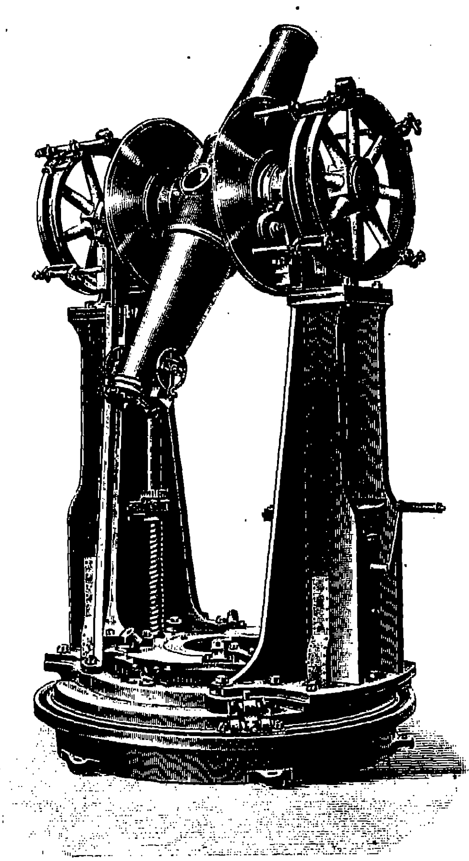


Fig. 884.

Die Äquilibrirung der Horizontalaxe geschieht durch die Gewichte bei (24). Die Umlegung dieser Axe in ihren Lagern erfolgt durch die Kurbel bei (25). An der dem Kreise entgegengesetzten Fläche des Fernrohrkubus befindet sich noch eine mit der Horizontalaxe gleichgerichtete kleine Axe (27), auf welcher das zu Breitenbestimmungen nach der Horrebow-Talcott-Methode bestimmte Niveau (26) sich drehen und festklemmen lässt. Im Übrigen ist auch bei (28) und der entsprechenden anderen Seite des Kubus dieser durchbrochen, zwecks einer Durchsicht für Kollimatoren.

Da das oben beschriebene Altazimuthinstrument in Greenwich den höchsten Ansprüchen nicht mehr genügte, hat in neuester Zeit der jetzige Direktor der Greenwicher Sternwarte W. H. M. Christie, ein neues Instrument nach seinen Angaben bauen lassen, dessen Princip in den Monthly Notices[1]) wie folgt beschrieben ist, und welches in manchen Theilen dem Strassburger Altazimuth, in anderen wieder dem Repsold'schen oder Sägmüller'schen Durchgangstheodoliten oder dem Bamberg'schen Universaltransit ähnelt.[2])

Das in Aussicht genommene Altazimuth ist ein umlegbarer „Transitcircle" mit eisernem Untergestell, welches die Möglichkeit bietet, der Absehenslinie bestimmte Azimuthe zu geben, z. B. 0°, 20°, 40°, 60°, 75°, 90° Ost oder

[1]) Monthly Notices, Bd. LII, S. 480. Auch die Methode der Beobachtung setzt Christie an der angegebenen Stelle des Näheren auseinander. Durch das besondere Entgegenkommen des Herrn Christie bin ich in der Lage, das Greenwicher Instrument in Fig. 884 zur Darstellung zu bringen.

[2]) Vergl. das Kapitel über die Durchgangsinstrumente.

West vom Meridian. Dies wird dadurch ermöglicht, dass man das eiserne Gestell des Obertheiles auf einer kreisförmigen Grundplatte, welche mit einer sorgfältig abgeschliffenen und horizontal stellbaren Oberfläche versehen ist, an drei Stellen aufruhen lässt. Mit Hülfe von Friktionsrollen soll die Bewegung um die vertikale Axe erleichtert werden, wie beim Strassburger Instrument.

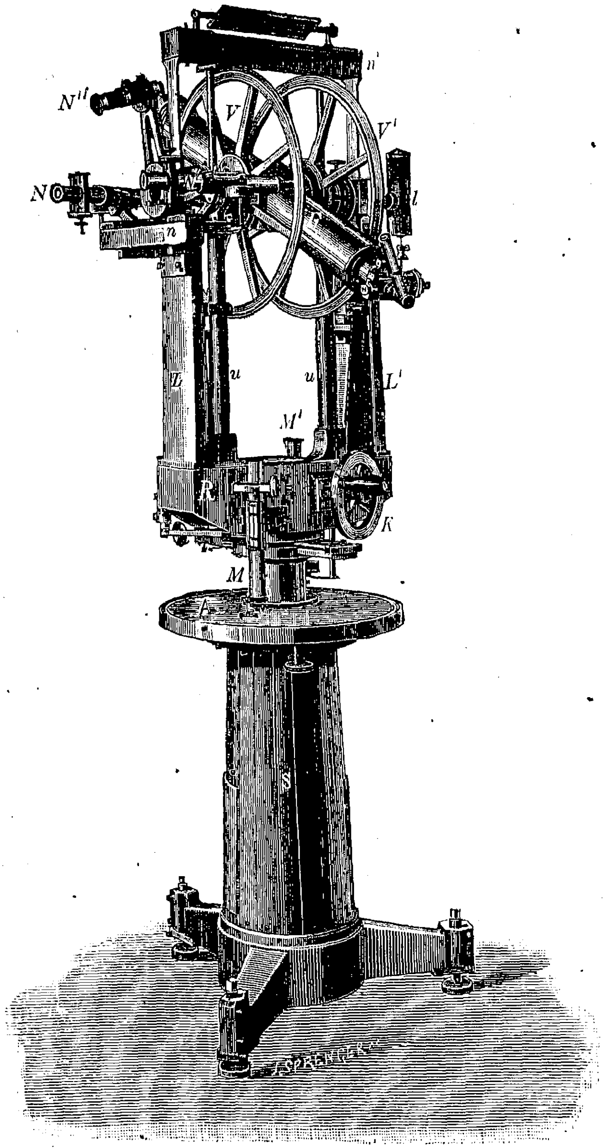


Fig. 835.

Von dem Bamberg'schen Universaltransit unterscheidet sich dieses Instrument also hauptsächlich dadurch, dass mit ihm namentlich die Zenithdistanzen gemessen werden sollen. Die Dimensionen des Instruments sind so bemessen, dass es nahezu einem grossen Meridiankreis entspricht. Das Fernrohr hat ein Objektiv von 8 Zoll Öffnung und 8 Fuss Brennweite, während die Kreise mit 3 Fuss

Durchmesser konstruirt sind. An Stelle des Kubus stellt die Verbindung zwischen Fernrohr und Axe ein fassförmiger Rotationskörper her. Zur Benutzung von Kollimatoren kann das Instrument zum Umlegen aus den Lagern gehoben werden. Es kommt also in vieler Hinsicht, sobald es im ersten Vertikal angewandt wird, dem später näher zu beschreibenden Höhenkreis für den ersten Vertikal nahe, wie er nach N. HERZ' Vorschlag von REPSOLD für die v. Kuffner'sche Sternwarte gebaut worden ist.

Die Bestimmung der Azimuthe wird durch verschiedene Miren erleichtert, deren absolute Azimuthe recht häufig durch die Beobachtungen von Cirkumpolarsternen verificirt werden müssen.

In Fig. 835 ist noch ein hierher gehöriges Instrument dargestellt, wie es zu ähnlichen Zwecken von der „Société genévoise etc." gebaut worden ist. Auf einem massiven Dreifuss erhebt sich die leicht konische Säule S, welche an ihrem oberen Ende direkt den Azimuthalkreis A trägt, in ihrer Mitte tritt ein starker Cylinder heraus, welcher dem Obertheil des Instruments zur Führung und als Träger dient. Derselbe besteht aus dem horizontalen Rahmen R, welcher an beiden Enden die Lagerständer L L′ für die Horizontalaxe aufnimmt. Letztere lässt sich mittelst einer besonderen, in der gewöhnlichen Weise gebauten Vorrichtung u u umlegen; die Hebung geschieht durch die Radkurbel K. Der Horizontalkreis kann durch die beiden Mikroskope M M′, welche an R seitlich befestigt sind, bis auf ganze Sekunden abgelesen werden. Vertikalkreise sind auf beiden Seiten des geraden Fernrohrs je einer von 40 cm Durchmesser vorhanden, welche durch die an dem einen Lagerbock befestigten Mikroskope N N′ ebenfalls auf Sekunden abgelesen werden können. An demselben Lagerständer befindet sich auch das Höhenniveau n, während die Neigung der Horizontalaxe durch ein beim Umlegen an seinem Ort verbleibendes Reiterniveau n′ bestimmt werden kann. Beide Libellen sind in eigenthümlichen parallelepipedischen Kästen montirt und das letztere mit Ablesespiegel versehen. Die grobe Einstellung wird mittelst des einfachen Mikroskops N″ ausgeführt. Um trotz der festen Stellung der Mikroskope ein Umlegen zu gestatten, sind nicht wie beim Strassburger Altazimuth zwei Sätze von Mikroskopen, sondern zwei gleiche symmetrische Kreise angebracht, was sowohl wegen der centrischen Lage des Fernrohrs, als auch wegen der weit kleineren Dimensionen des Instruments gerechtfertigt erscheint. Der erstere Umstand macht es, da das Fernrohr ein gerades ist, allerdings nöthig, vor dem Okular ein Reflexionsprisma mit entsprechendem Ansatz anzubringen, um auch in geringen Zenithdistanzen bequem beobachten zu können.

Die Beleuchtung geschieht durch die Lampe l durch die hohle Axe. Das Instrument ist sehr hübsch gebaut, dürfte aber, was Stabilität anlangt, seiner ganzen Anlage nach dem Strassburger und Greenwicher doch nachstehen.

Zum Vergleich gebe ich in Fig. 836 noch die Darstellung eines Altazimuthes, wie neuerdings solche von Warner & Swasey in Cleveland gebaut werden. Nach den vorhergehenden Beschreibungen dürfte die Einrichtung leicht verständlich sein. Die Horizontalaxe ist nicht umlegbar, was durch die feste Verbindung des die vier Mikroskope tragenden Kreises mit dem einen der sehr hohen Lagerständer bedingt wird. Gegenüber dem sehr

schwer konstruirten Unterbau erscheint der Obertheil des Instruments mehr den gewöhnlichen Universalen entsprechend gehalten zu sein. Der Horizontal-

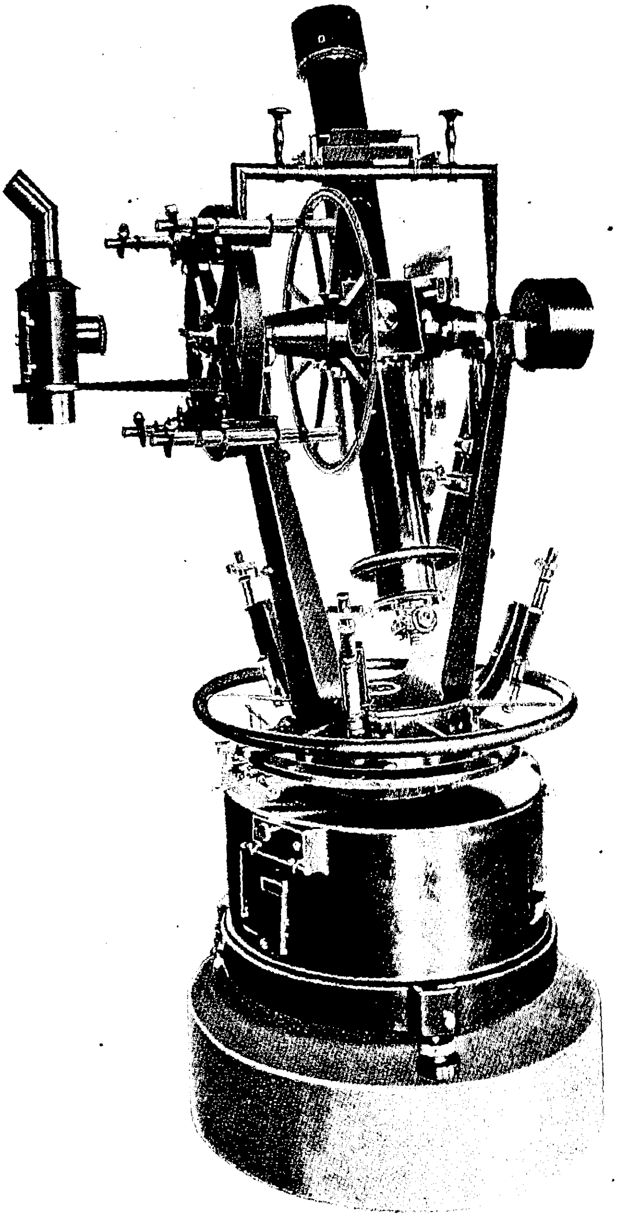


Fig. 836.

kreis ist, wie man es bei englischen und amerikanischen Instrumenten häufiger findet, durch drei äquivalente Mikroskope abzulesen. Im Übrigen ähnelt das Instrument einigermassen dem des Genfer Instituts.

3. Mauerkreise, Vertikalkreise und Zenithteleskope.

Eine grössere Reihe von Beobachtungen, z. B. Polhöhenbestimmungen, Untersuchungen über Aberration und Nutation u. dergl., erfordern wesentlich

nur Bestimmungen der Zenithdistanz resp. der Deklination der Gestirne. Diesem Umstande hat man auch bei der Konstruktion besonderer Instrumente Rechnung getragen. Dahin gehörten früher namentlich die Quadranten und Mauerkreise, später die besonders konstruirten Vertikalkreise und die

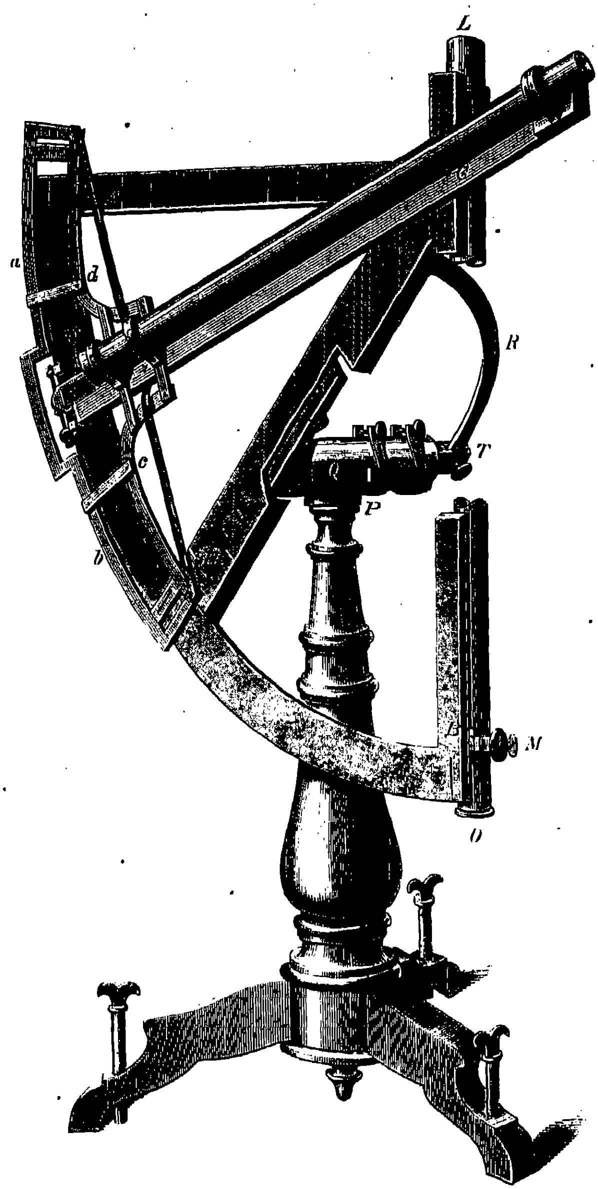


Fig. 837.

sogenannten Zenithsektoren und Zenithteleskope. Quadranten, wie die Fig. 837 u. 838 solche darstellen, aus den berühmten und für die Zeit der Anwendung dieser Instrumente allein maassgebenden englischen Werkstätten von Troughton und von Bird stammend sind heute ganz ausser Gebrauch und sollen daher hier nur erwähnt werden. An ihrer Stelle sind später die als Vollkreise

gebauten Mauerkreise, welche eine wesentlich grössere Genauigkeit gewähren, getreten; zum Theil sind sie auch, soweit es sich um transportable Instrumente handelte, durch die weit handlicheren und bei erheblich vervollkommneter technischer Ausführung die gleiche Sicherheit bietenden Reflexionsinstrumente verdrängt worden. Bis in die 60er Jahre und an vereinzelten Observatorien bis jetzt sind aber Mauerkreise noch in Benutzung. Ich will daher kurz einen der bedeutendsten derselben, den des Naval Observatory zu Washington, mit Bezug auf die Fig. 839 u. 840 kurz beschreiben. Derselbe stand in Benutzung neben einem Passageninstrument von ERTEL, welches für die Beobachtung der Durchgangszeiten (der Rektascension) bestimmt war. Am Mauerkreis wurden die Deklination und am Passageninstrument die Rektascension der Sterne, wie das früher mehrfach üblich war, beobachtet, bis der eine Vereinigung beider darstellende Meridiankreis die nöthige Präcision des Baues erlangt hatte, um nach beiden Richtungen hin einen weit bequemeren Ersatz zu bieten.

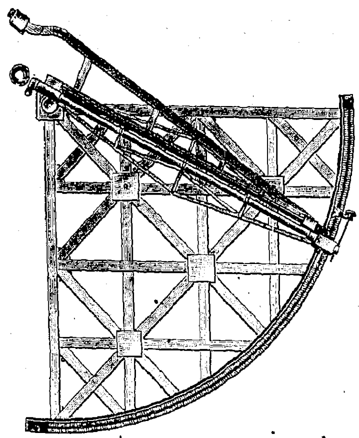


Fig. 838.

A. Der Washingtoner Mauerkreis.

Dieses Instrument wurde von TROUGHTON und SIMMS in London gebaut und 1845 definitiv aufgestellt. Der Pfeiler, der den Kreis trägt, ist 9 Fuss 4 Zoll hoch und misst 6 Fuss von Nord nach Süd und 3 Fuss 3 Zoll von Ost nach West.

Die Axe des Instruments durchsetzt diesen Pfeiler in einer Durchbohrung von 32 Zoll Breite und 21 Zoll Höhe, das Profil desselben ist in der Fig. 839 durch eine punktirte Linie angedeutet.[1]) Der Kreis ist am Ostende der Axe befestigt, welche dort auch durch die beiden Friktionsräder R R untersützt wird. Diese laufen mit ihren Axen in den Ecken eines Rahmens, dessen beide senkrechte Arme an den Stangen r r angreifen, die oben auf zwei die Gegengewichte tragende Hebel l l gehakt sind. Der Kreis selbst hat einen Durchmesser von 5 Fuss und wird durch 12 Speichen und einen Zwischenring von T-förmigem Querschnitt verstärkt. Er trägt auf seiner genau cylindrisch abgedrehten Peripherie zwei Theilungen, die eine auf Platineinlage von Grad zu Grad fortschreitend und beziffert, und eine zweite, welche die Unterabtheilungen von 5′ zu 5′ enthält auf Gold. Dieselbe wird durch die 6 Mikroskope A, B, C, D, E und F, welche radial am Pfeiler befestigt sind, abgelesen. Das Fernrohr hat bei einer freien Öffnung von 4 Zoll eine Brennweite von 5 Fuss und ausser einem festen Fadensystem noch einen beweglichen Horizontalfaden, mit welchem die Einstellung der Gestirne mikrometrisch erfolgt und zwar mehrmals während eines Durchganges. Die Kreiseinstellung wird dann

[1]) Die Bohrung wurde so weit gemacht, um eine gleichmässige Temperatureinwirkung auf Axe und Instrument zu erzielen. Demselben Zwecke dient auch ein Belag des mittleren Theiles des Kreises mit einer hochpolirten, dünnen Zinnplatte dem Pfeiler gegenüber.

nur einmal gemacht und zu der zugehörigen Ablesung die Angaben der Mikrometerschraube hinzugefügt, indem die erstere als für den festen Horizontalfaden gültig angesehen wird.[1]) M sind Radialklemmen mit tangentialer

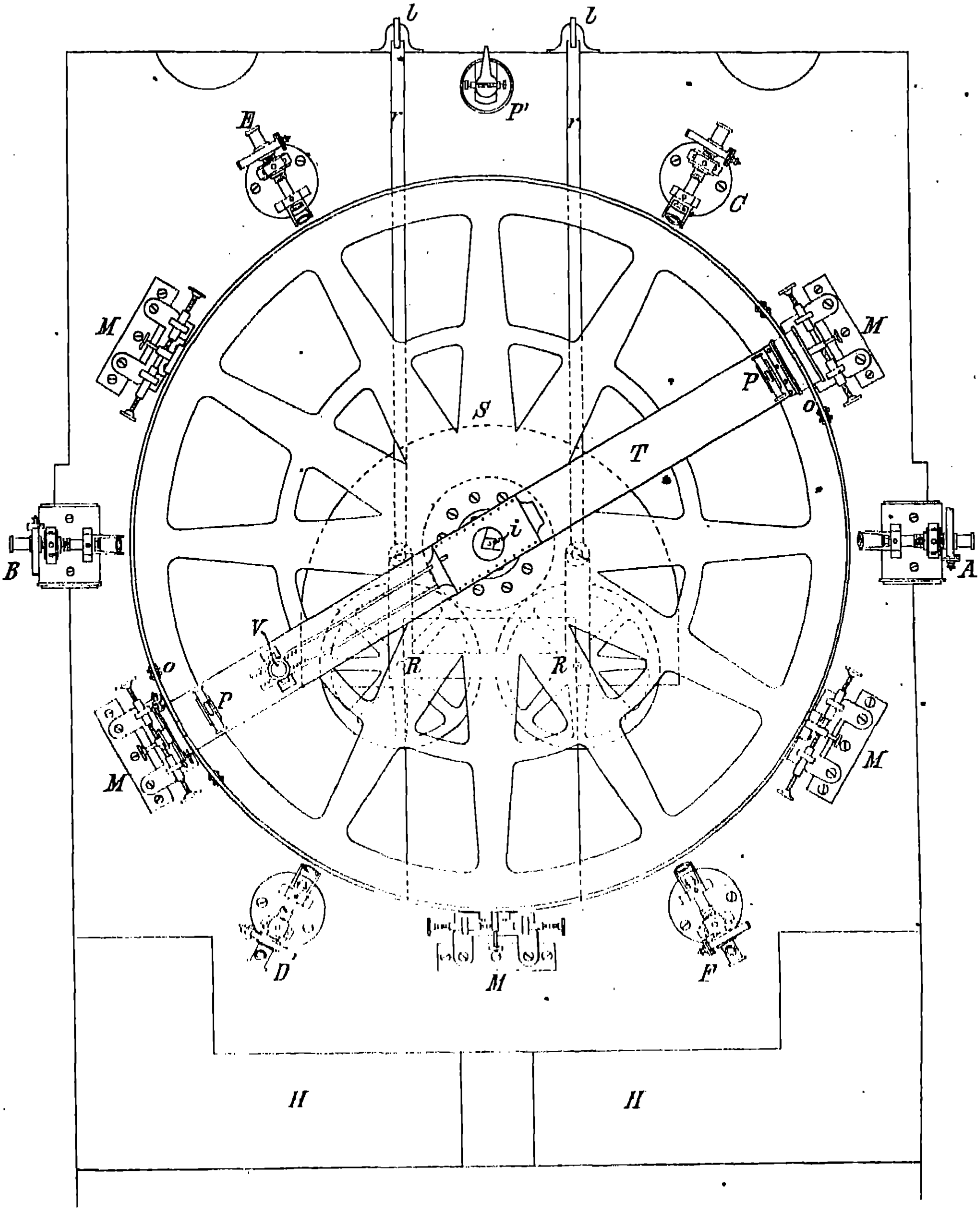


Fig. 880.
(Nach Washington Observations 1845.)

Feinbewegung (später sind von den 5 Klemmen 2 ausser Gebrauch gesetzt); man brachte so viele an, um in allen Lagen des Fernrohrs leicht eine da-

[1]) Die Einrichtung der Fadensysteme ist im Laufe der Zeit, je nach dem jeweiligen Beobachtungsprogramm, mehrfach abgeändert worden. Vergl. Washington astron. and meteor. Observ. 1874, Ap. I, S. 14.

von zur Hand zu haben. Fernrohr und Kreis haben beide eigene Axen, von denen die des ersteren in der sehr starken und als Hohlkonus gearbeiteten Kreisaxe liegt, so dass das Fernrohr unabhängig von dem Kreis gedreht werden kann, wenn es nicht am Objektiv- und Okularende mit dem Kreislimbus durch die Schrauben O O fest verbunden ist. Bei P′ kann an einem besonders eingerichteten Haken ein Loth an feinem Silberdraht aufgehängt werden, welches früher zur Vertikalstellung des Fernrohrs und zur Horizontirung der Axe diente.[1]) Später wurde sowohl zur Bestimmung des Zenithpunktes, des Kollimationsfehlers und der Neigung, sowie zur Beobachtung reflektirter Bilder der Gestirne ein auf dem Mauervorsprung HH aufgesetzter Quecksilberhorizont von der Form eines langgestreckten Rechtecks benutzt.

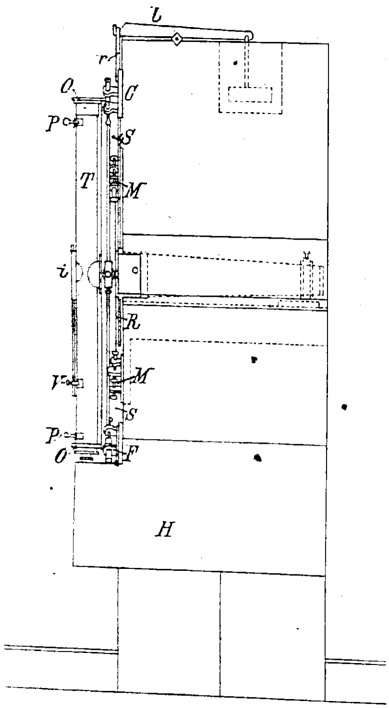


Fig. 840.

Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes geschieht durch die von zwei rechtwinkelig ausgeschnittenen Scheiben bei i im Centrum des Fernrohrs gebildete Öffnung hindurch, welche mittelst der in das Trieb bei V eingreifenden Zahnstangen regulirt werden kann; ihr gegenüber ist ein Spiegel unter 45° zur Fernrohraxe geneigt angebracht. Für die Beleuchtung der Mikroskoptrommeln und der Theilungen dienen zwei im Osten und Westen des Instruments aufgestellte Lampen.

Mit solchen Mauerkreisen, von denen in Greenwich z. B. zwei neben einander aufgestellt waren,[2]) waren nahe gleichzeitig die grossen Vertikalkreise von Reichenbach und von Troughton in Benutzung, welche zum Theil auch wohl noch untergeordnete Azimuthkreise besassen.

B. Vertikalkreise.

Diese Kreise unterscheiden sich namentlich dadurch in zwei Klassen, dass einmal die Vertikalaxe nur an einem Ende, am unteren, geführt ist, sich dort auf einem langen, konischen Axenzapfen bewegt, wie es z. B. bei dem in Fig. 843 dargestellten grossen Vertikalkreis von Troughton der Fall

[1]) Es waren zu diesem Zweck an dem ersteren die beiden unter dem Namen „Ramsden's ghost" bekannten Hülfseinrichtungen P P angebracht. Dieselben bestanden aus mikroskopischen Linsenkombinationen, welche ein Bild eines auf einer Perlmutterplatte angebrachten Punktes in der Ebene des Lothfadens entwarfen, wodurch bei der Einstellung auf diesen die sonst so schädliche Parallaxe vermieden wurde.

[2]) Greenwich Observ. 1832.

ist; während im anderen Falle die Vertikalaxe an beiden Enden in zwei von einander mehr oder weniger unabhängigen Lage. wird. Diese Einrichtung findet sich z. B. bei dem prächtigen Instrumente, welches einst REICHENBACH für die Sternwarte zu Neapel baute.

Die erstere Form lässt sich auch für Instrumente zur Anwendung bringen, welche eventuell an verschiedenen Aufstellungsorten z. B. an den Endpunkten eines Gradmessungssystems gebraucht werden sollen, während die zweite im Allgemeinen nur für stationäre Instrumente zulässig ist. Das letztere Instrument mag hier etwas ausführlicher erläutert werden, weil es eine Reihe von Einrichtungen erkennen lässt, die den Reichenbach'schen Konstruktionen eigenthümlich sind.

a. Vertikalkreis von REICHENBACH auf der Sternwarte zu Neapel.

Die senkrechte Axe dieses Vertikalkreises, Fig. 841 u. 842, besteht aus einem starken Messingrohr EE von genügender Länge, um Okular und Kreis-

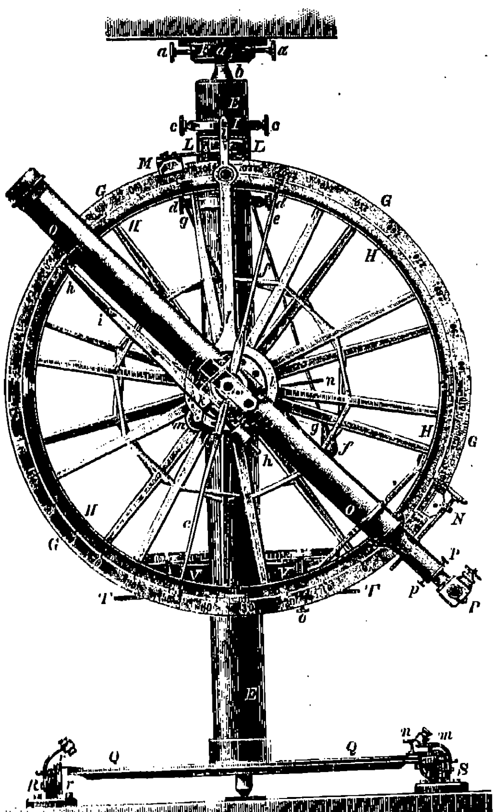


Fig. 841.

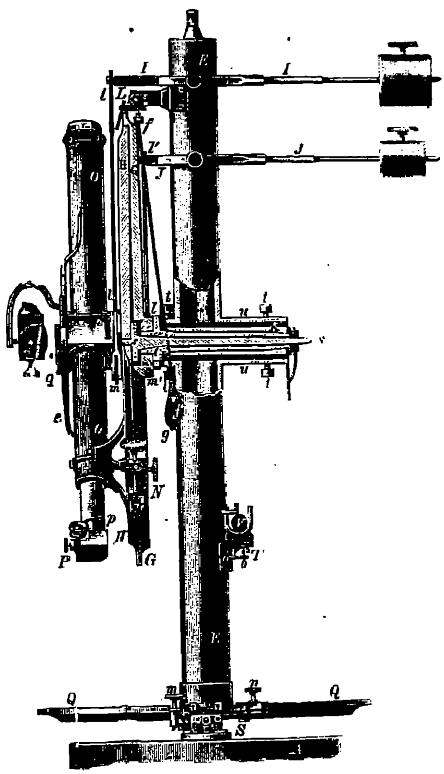


Fig. 842.

ablesungen dem Beobachter bequem zugänglich zu machen. Der obere Zapfen der Vertikalaxe ist cylindrisch und läuft in einem dreiseitigen Lager F, welches mittelst 4 Schrauben a a' an einer oberen Querschiene justirbar befestigt ist. Der untere Zapfen ist ebenfalls zum Theil cylindrisch und

läuft mit einer Spitze in einem Metallager, welches in einer besonderen Pfanne auf dem Grundpfeiler A befestigt ist. An der unteren Hälfte der Vertikalaxe ist an der dem Kreis entgegengesetzten Seite eine empfindliche Libelle V angebracht, welche die Vertikalität der Axe zu prüfen gestattet. Der Durchmesser des Kreises G ist 39 Par. Zoll, er ist durch 10 Speichen, welche unter sich wieder durch Querstäbe verstärkt sind, mit einer centralen Büchse verbunden (das Ganze ist ein Gussstück); mittelst dieser Büchse ist er auf eine Hohlaxe C aufgeschraubt, welche mit zwei Konen in einem Axenlager K läuft; dieses durchsetzt die Vertikalaxe in einem mit ihr aus einem Stück bestehenden Querrohre u u und ist darin an der Vorder- und an der Rückseite durch je 4 Schrauben t justirbar befestigt. In der Höhlung der Kreisaxe bewegt sich die Axe des Vernierkreises H, welcher sich direkt in eine entsprechende Ausdrehung des Theilkreises einlegt, so dass die auf ihm an 4 Stellen angebrachten Verniers mit der Theilung selbst in einer Ebene liegen.[1]) Der Kreis ist von 5 zu 5 Minuten getheilt, während die Verniers noch eine Ablesung bis auf 2 Sekunden gestatten. Beide Axen sind an ihren dünneren Enden mit Schraubenspindeln versehen und werden durch vorgeschraubte Muttern in ihrer gegenseitigen Lage befestigt. Das Fernrohr O P ist mittelst eines besonderen Bockes bei O und an einer centralen Stelle des Kubus auf dem Vernierkreise befestigt, es ist etwas länger als der Durchmesser des Kreises. Das Okular folgt erst hinter einem rechtwinkligen Prisma, um eine bequeme Beobachtung zu gestatten. Es enthält ein einfaches Fadenmikrometer. Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes geschieht durch eine kleine Lampe bei q mit vorgesetzter Sammellinse, welche an einem besonderen Arm kardanisch aufgehängt ist und ihr Licht durch eine durch zwei Schieber veränderliche Öffnung in den Kubus des Fernrohrs schickt, wo es durch einen Ringspiegel nach dem Okular reflektirt wird. Um eine Biegung des freien Objektivendes zu vermeiden, ist unter demselben die Reichenbach'sche Hebeleinrichtung h i k angebracht. Da Kreise und Fernrohr die Axen einseitig bedeutend beschweren, sind die Äquilibrirungshebel J J vorhanden, welche an den kurzen Hebelarmen Stangen l resp. l' mit Ringöffnungen an den unteren Enden tragen und damit sowohl zwischen Fernrohr und Vernierkreis als auch zwischen Theilkreis und Vertikalaxe das horizontale Axensystem mit Zwischenschaltung von Friktionsrollen stützen. Am längeren Arme der Hebel befinden sich die entsprechenden Gegengewichte, während diese Hebel ihre Stützpunkte an der Vertikalaxe selbst in je zwei Spitzenaxen haben. Da der Kreis zu Repetitionszwecken eingerichtet ist, befindet sich sowohl zwischen Theilkreis und Vernierkreis als auch zwischen dem ersteren und der Vertikalaxe je ein Klemm- und Mikrometerwerk bei N resp. L M. Zur Einstellung im Azimuth und untergeordneten Winkelmessung in dieser Koordinate trägt die Vertikalsäule an ihrem unteren Ende noch einen Horizontalkreis Q, welcher gegen ein auf der Grundplatte A befestigtes Klemm- und Mikrometerwerk S festgestellt werden

[1]) Es ist die von Reichenbach allgemein angewandte Einrichtung seiner Kreise, da er sich bekanntlich nicht entschliessen konnte, die Vernier-Ablesung durch die mikroskopische zu ersetzen.

kann. Die Ablesung der Verniers wird an beiden Kreisen durch Lupen, welche sich beim Vertikalkreis an langen, radialen Armen über die Peripherie bewegen lassen, erleichtert.[1])

b. Der Vertikalkreis von Troughton.

Das in Fig. 843 dargestellte Troughton'sche Instrument, welches den wesentlich verbesserten Typus des Borda'schen Repetitionskreises darstellt, besteht aus einem starken Dreifuss a b c,[2]) in dessen Centrum eine konische Stahlaxe, vertikal befestigt ist, welche unten 1 Zoll und oben etwa $^1/_2$ Zoll Durchmesser und 15 Zoll Höhe hat. Auf dieser Axe dreht sich eine starke Messingbüchse, welche an ihrem unteren Ende einen Horizontalkreis trägt, der sich dicht über dem Dreifusse befindet

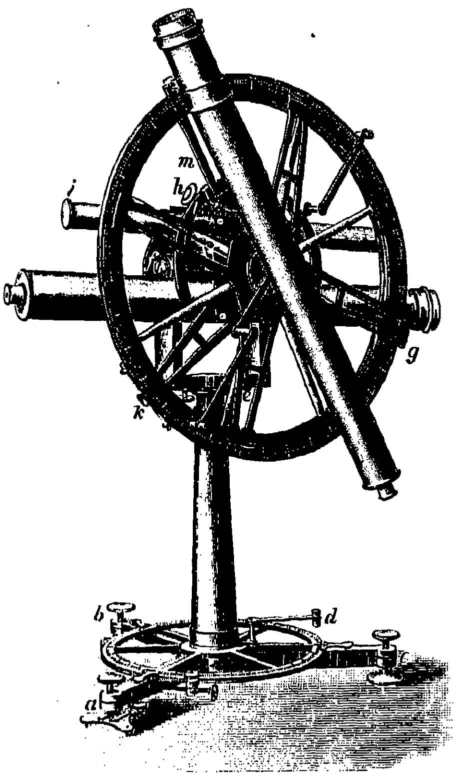


Fig. 843.
(Nach Pearson, Pract. Astronomy.)

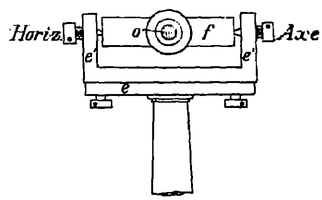


Fig. 844.

und an drei Verniers mit Hülfe der Lupe d abgelesen werden kann. Am oberen Ende trägt die Büchse ein senkrecht zu ihr stehendes Querstück e, welches fest mit ihr verschraubt ist, und auf diesem ruht, durch zwei Schrauben gehalten, der zugleich die Lager für die Horizontalaxe bildende Messingbock e', von der in Fig. 844[3]) skizzirten Form. Die Horizontalaxe, welche parallel der Kreisebene liegt, ist wiederum ein starkes Gussstück, welches in seinem Centrum die Bohrung für das Axensystem des Kreises und der Alhidade hat. Es dient dazu, den Kreis nicht nur vertikal, sondern auch horizontal stellen zu können, so dass dieses Instrument gleichzeitig ein Vertreter einer gewissen Art von Universalinstrumenten

[1]) Carlo Brioschi, Comentari astronomici della specola reale di Napoli, Bd. I, S. 16 ff.

[2]) Einer der drei Füsse ruht nicht in dem Loche einer gewöhnlichen Fussplatte, sondern auf einer kleinen, planen Fläche bei a mit zwei seitlichen Führungsleisten. Es werden durch diese Anordnung, der wir in neuerer Zeit in ähnlicher Weise wieder begegnen, namentlich Spannungen in dem Dreifuss vermieden, welche durch Temperatureinflüsse bedingt sein können.

[3]) Diese Theilung des Lagers für die Horizontalaxe in die Stücke e und e' ist wegen der leichteren Verpackung bei Transport gewählt; denn diese grossen Troughton'schen Kreise sollten auch auf Stationen benutzt werden.

ist, mit denen sowohl Winkel in vertikaler, wie horizontaler und unter Umständen auch in jeder beliebigen Ebene mit ein und demselben Kreise und Fernrohr gemessen werden können. Die durch diese Vielseitigkeit bedingte komplicirte Konstruktion hat natürlich eine schwierige Berichtigung und eine nicht zu vermeidende gewisse Inkonstanz der Axenrichtungen zur Folge. Deshalb pflegt man in der jetzigen Beobachtungskunst, in welcher eine möglichste Vereinfachung und Stabilität der Instrumente Princip geworden ist, von der Anwendung solcher Maschinen ganz abzusehen. Die Drehung der Axe f kann sogar durch einen mit derselben verbundenen kleinen Kreis abgelesen werden, der auch zugleich zur Feststellung der Kreisaxe in der gewünschten Lage dient. Der erheblich stärkere Mitteltheil 0 dieser Horizontalaxe ist senkrecht durchbohrt und nimmt in dieser Bohrung als Büchse die Axensysteme des Kreises und Verniers auf; auf der dem Kreise entgegengesetzten Seite ist ein entsprechendes Gegengewicht angebracht. An dem Vernier bei g ist rückwärts eine Klemme mit Feinbewegung vorhanden, welche Alhidade und Kreis mit einander verbindet. Ausserdem kann das auf der Rückseite des Kreises liegende zweite Fernrohr ebenfalls durch eine Klemme mit der Alhidade verbunden werden, und beide Systeme sind wiederum mit dem Mittelstück der „Horizontalaxe“ durch Klemme und Feinbewegung verbunden. Dadurch wird eine auf die Einstellungen an zwei Fernrohren gegründete Repetition ermöglicht. Das Hauptfernrohr hat ein Fadennetz aus je 3 Fäden in paralleler und senkrechter Richtung zur Kreisebene, während das Hülfsfernrohr nur ein einfaches Fadenkreuz besitzt, welches aber durch 4 Schrauben so justirt werden kann, dass die Absehenslinie parallel der Kreisebene wird. Die Öffnung des Fernrohrs ist $1^3/_4$ Zoll bei 25 Zoll Fokallänge. Die nähere Einrichtung dürfte aus der Figur genügend ersichtlich sein, so dass hier bezüglich weiterer Details auf die sehr ausführliche Beschreibung in Pearsons Prakt. Astron. etc. verwiesen werden kann, zumal die Beschreibung und Abbildung dieses Instruments hier nur zum Zwecke der Erläuterung solcher „Universalinstrumente“ im wahrsten Sinne des Wortes eingefügt werden musste.

c. Der Ertel'sche Vertikalkreis zu Pulkowa.

Eine erhebliche Verbesserung dieser Art Instrumente tritt mit dem Bau des Vertikalkreises für die Sternwarte in Pulkowa durch Ertel ein, welcher bis heute noch im vollen Gebrauche steht[1]) und neben dem Durchgangsinstrument, welches die Rektascension liefert, zur gesonderten Bestimmung der Deklination der Fundamentalsterne benutzt wird. Das Hauptgewicht ist bei seiner Konstruktion auf die stabile Aufstellung und die Konstanz des Zenithpunktes, sowie auf die bequeme und sichere Bestimmung der Instrumentalkonstanten gelegt worden. Auf Grund dieser Bedingungen ist das nach den Ideen von W. Struve von dem Münchener Künstler gebaute Instrument konstruirt worden, wie es die Fig. 845—847 darstellen.[2]) Fig. 845

[1]) Vor einigen Jahren hat dieser Kreis durch Repsold eine neue Theilung erhalten.

[2]) Vergl. Struve, Descript. de l'observatoire impérial de Poulkova. St. Petersburg 1845, S. 151 ff.

zeigt das Instrument auf die Meridianebene projicirt und Fig. 846 dasselbe von Süden gesehen mit nach dem Zenith gerichtetem Fernrohr.

Die sehr stark gebaute, leicht konische Säule S des Instruments besteht aus Rothguss, und ruht unten auf einem Dreifuss, Fig. 847, dessen drei Fussschrauben auf besondere Stahlprismen mit plan polirten Oberflächen aufgesetzt sind. Die Fussschrauben sind so gestellt, dass die Verbindungslinie zweier derselben Ost-West und die dritte also in der Richtung des Meridians liegt.

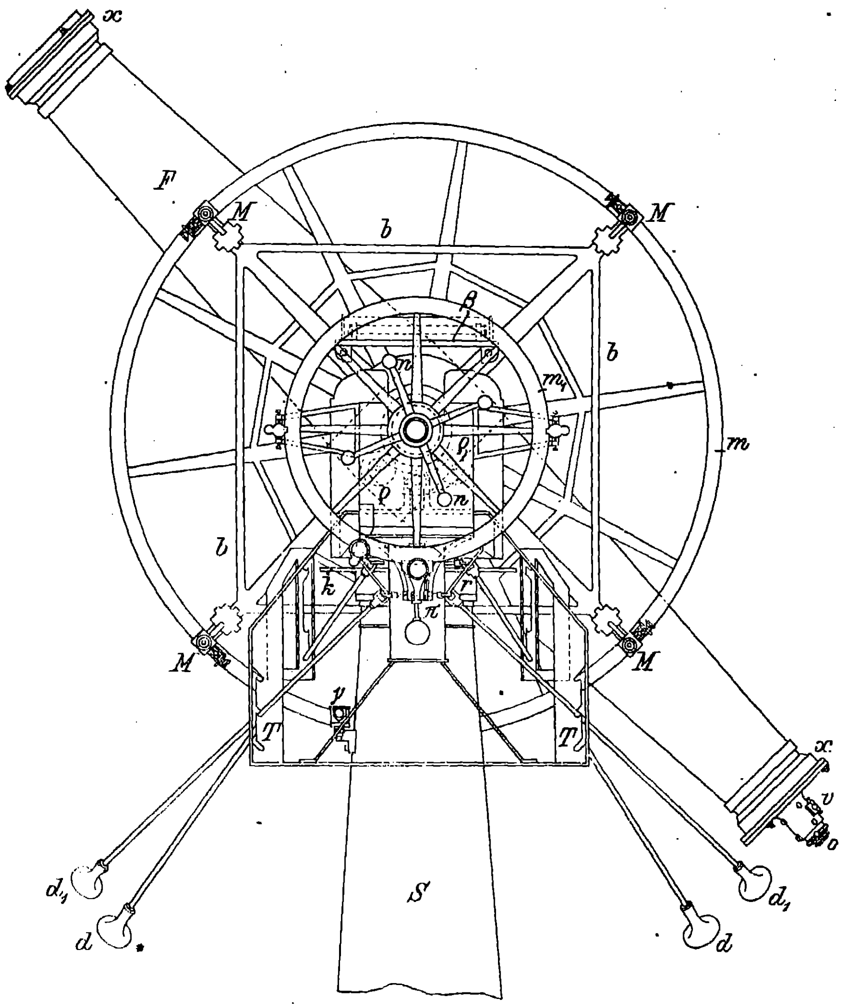


Fig. 845.

Die letztere trägt am oberen Ende bei u einen kleinen, getheilten Kreis, welcher die Grösse ihrer Drehung bei Korrektur der Vertikalaxe in Verbindung mit der bekannten Ganghöhe zu messen gestattet. Eine Revolution der Schraube neigt die Axe der Säule um 318″. Die drei Füsse des Untergestells sind miteinander verbunden, und das Verbindungsstück ruht mit seiner Mitte auf einem vierten centralen Prisma a, um die Schrauben zu entlasten. Die Säule S nimmt die im Ganzen cylindrische Stahlaxe A von etwa 3 Zoll Durch-

messer auf; dieselbe hat nur an ihrem oberen Ende einen konischen Ansatz, welcher in einer entsprechenden Ausdrehung der Säule läuft; an ihrem unteren Ende jedoch läuft sie in einen dünnen Cylinder aus, der in einem aus drei Theilen bestehenden cylindrischen Ringe ruht. Der eine dieser Theile ist beweglich und sichert, durch eine Feder angedrückt, die exakte vertikale Lage dieser Hauptaxe. Aus dem erwähnten Ringe ragt der Axenzapfen noch

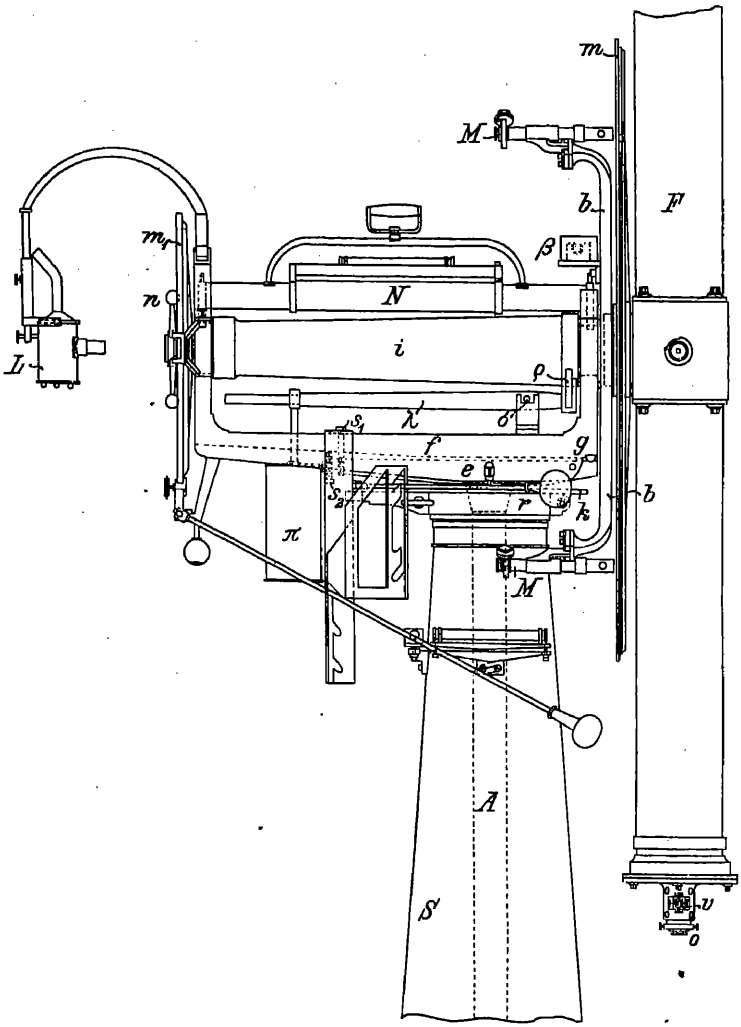


Fig. 846.

um etwas mit seinem unten sphärisch abgedrehten Ende hervor, auf welches in der Centrallinie die den ganzen Obertheil äquilibrirenden drei Gegengewichte C in eigenthümlicher Weise einwirken. Die dreiarmige Platte m Fig. 847 ist mittelst der Schrauben s von unten an der Säule befestigt, in ihrer Mitte ist der Cylinder p leicht beweglich und wird mit seiner polirten Oberfläche durch die kurzen Arme dreier zweiarmiger Hebel h, an deren längeren Armen die Gewichte C hängen und welche sich zwischen Gabeln, die mit m fest

verbunden sind, in den Punkten a drehen können, gegen das sphärische Ende der Vertikalaxe gepresst. Das obere Ende der Säule trägt einen 13 zölligen Horizontalkreis k, welcher durch zwei mit der Axe verbundene Verniers abzulesen ist, um die Absehenslinie des Fernrohrs in den Meridian zu bringen. Unter diesem Kreise bewegt sich um die Säule ein Ring r, welcher an dieser angeklemmt werden kann, und der mittelst einer einfachen Feinbewegungseinrichtung durch die Schlüssel d kleine, azimuthale Bewegungen des Obertheiles zur Einstellung der Horizontalaxe in die Ost-Westrichtung ermöglicht.

Mit der Vertikalaxe ist die 2 Zoll starke Platte e von Rothguss, welche eine nahezu elliptische Gestalt hat, fest verbunden; auf dieser Platte ruht der Lagerträger f an der einen dem Fernrohr zugewandten Seite mit einem stählernen Halbcylinder g auf und ist um diesen etwas drehbar, wodurch

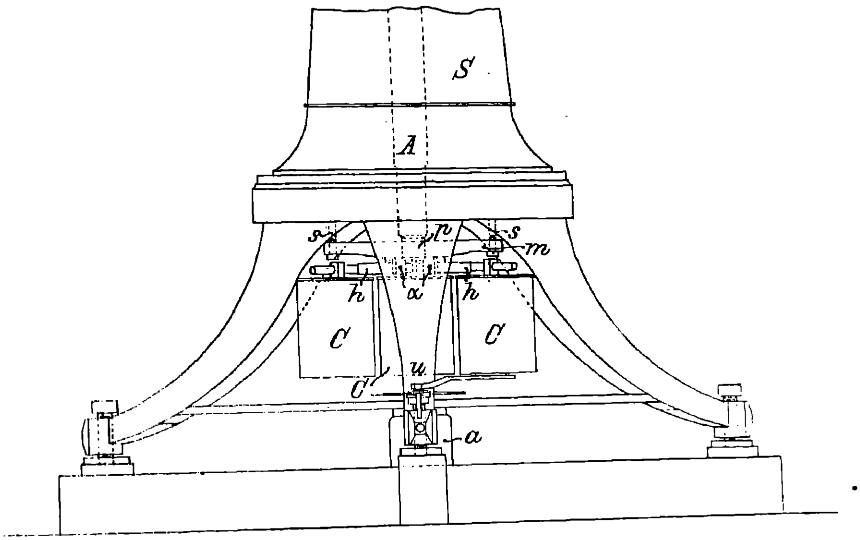


Fig. 847.

mittelst der Zug- und Druckschraube s_1 und s_2 die Axe i, welche mit stählernen Zapfentheilen in den Lagern liegt, gegen die Vertikalaxe A genau senkrecht gestellt werden kann.

An dem einen der Lageransätze sind die Indices für den Einstellungskreis m_1 und ein Arm angebracht, welcher an einem Bügel die Lampe L zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes des Fernrohrs trägt; diese Beleuchtung erfolgt durch eine Bohrung der Axe i hindurch.

Der andere Lageransatz nimmt auf einem konischen Ansatze den aus einem Stück gegossenen Rahmen b für die vier Mikroskope auf und ist dort mittelst acht Schrauben auf einer zur Horizontalaxe normalen Planfläche unveränderlich mit dem Lagertheil verbunden; zwischen seinen beiden oberen Diagonalspeichen ist das Hauptniveau β angebracht. Die Horizontalaxe trägt an dem einen Ende den Einstellungskreis m_1 von 19,2 Zoll Durchmesser und diesem gegenüber den Hauptkreis m, welcher bei einem Durchmesser von 43 Zoll direkt von 2 zu 2 Minuten getheilt ist und welchen die vier Mikroskope noch auf 1″ direkt abzulesen gestatten. Dicht neben dem Kreise ist das

Fernrohr F mit der Axe fest verbunden. Neben dem Einstellkreis sind noch vier Handgriffe n für die grobe Drehung in Zenithdistanz angebracht, und der Kreis m_1 selbst kann an dem Lagerbock f angeklemmt und mittelst der Feinbewegung und des Schlüssels d langsam gedreht werden.

Um die Reibung in den Lagern der Horizontalaxe zu verringern, ist unter dieser noch ein Hebel λ angebracht, welcher mit dem kürzeren Arme zwei Friktionsrollen r gegen die Axe vertikal drückt und zwar unter dem Schwerpunkt des oberen beweglichen Theiles des Instruments nahe dem rechts gelegenen Lager e, während er sich in σ um einen Zapfen dreht und am längeren Arme das Gewicht π trägt. Auf der Axe i ruht das Niveau N zur Bestimmung der Neigung mit rechtwinklig ausgeschnittenen Füssen auf.

Der Mikroskoprahmen, welcher aus einem Stück gegossen ist, steht mit der Drehaxe des Fernrohrs in keiner Verbindung, wird daher von deren Bewegungen nicht beeinflusst; seine unveränderte Stellung wird einzig durch das Niveau β geprüft und auf Grund seiner Angaben die Kreisablesung korrigirt; es ist gegen den Rahmen mittelst einfacher Zug- und Druckschrauben etwas verstellbar, im Übrigen aber wird seine Neigung durch die Fussschraube u immer in sehr engen Grenzen gehalten, was um so leichter sich erwiesen hat, als die Gesammtaufstellung und der Bau des Instruments nur äusserst geringe Veränderungen erleiden.

Die mit einem Doppelfaden (14 Bogensekunden Distanz) versehenen Mikroskope M sind leicht in gewöhnlicher Weise justirbar und geben eine Ablesegenauigkeit von unter 0,1 Bogensekunden, wobei sogar in dieser Angabe noch eine durch verschiedene Beleuchtung des Limbus hervorgerufene Unsicherheit mit eingeschlossen ist. Das Fernrohr ist von eigenthümlicher Einrichtung, insofern die beiden Konen desselben, die an einem mittleren prismatischen Theile angeschraubt sind, an diesen Stellen nicht einen kreisförmigen Querschnitt haben, sondern in Übereinstimmung mit der Form des „Kubus", welcher hier in der Richtung der Drehaxe 6,7 und in der Richtung der optischen Axe 10,7 Zoll Seitenlängen hat, einen elliptischen Querschnitt aufweisen, so dass die parallel der Kreisebene gelegene Ellipsenaxe doppelt so gross ist, als die normal dazu stehende. Dagegen gehen am Okular- und Objektivende die Ellipsen in Kreise über. Es ist leicht einzusehen, warum diese Form gewählt ist; sie setzt offenbar der Einwirkung der Schwere auf die Lage der optischen Axe einen grösseren Widerstand entgegen.

Objektiv- und Okulartheil sind so gearbeitet, dass sie sich vertauschen lassen, und zwar mit grosser Bequemlichkeit, da beide Theile auf je einer ganz gleich gearbeiteten planen Fläche x befestigt sind und ihr Gewicht genau dasselbe ist. Das Objektiv hat bei einer Öffnung von 5,90 Zoll eine Fokaldistanz von 77 Zoll, so dass das Verhältniss zwischen beiden ein kleines ist, nämlich nur 13,1, trotzdem sind die Bilder sehr gut.

Im Gesichtsfelde sind drei Horizontalfäden und zwei Vertikalfäden, erstere haben Distanzen von 7 resp. 18, letztere von 60 Bogensekunden untereinander. Das enge Horizontalfädenpaar soll zu Beobachtungen von Sternund Planetenscheiben benutzt werden in der Weise, dass diese symmetrisch zwischen die Fäden treten, während der entferntere Faden zur Bisektion der

Sterne dienen soll. Die Vertikalfäden diene…
der Mitte des Gesichtsfeldes und des Stunde…

Die einzelnen Instrumentalfehler finden ihre Korrektur resp. …
ihrer Grösse, wie STRUVE des Näheren anführt, in folgender Weise:

1. Die Vertikalaxe wird mit Hülfe der auf der Horizontalaxe aufgesetzten Niveaus durch die drei Fussschrauben berichtigt.

2. Nach Ausführung dieser Operation wird die Horizontalaxe mit Hülfe des Niveaus N durch die Schrauben bei s_1 u. s_2 senkrecht zur Vertikalaxe gestellt.

3. Zur Bestimmung der Kollimation des Fernrohrs gegen die Horizontalaxe werden zwei Kollimatoren gebraucht, welche im Norden und Süden des Instruments so aufgestellt sind, dass sie in der Westlage des Kreises und des Fernrohrs auf einander gerichtet werden können, während in der Ostlage die Linie, in welcher ihre optische Axe liegt, auch bei horizontal gerichtetem Hauptfernrohre mit dessen optischer Axe zusammenfällt. Nach den bei den Durchgangsinstrumenten im Allgemeinen beschriebenen Methoden können nun sowohl Zenithpunkt als Kollimation des Instruments bestimmt werden. Es ist aber bei dem Bau dieses Instruments eine erhebliche Abhängigkeit des Kollimationsfehlers von der Zenithdistanz zu erwarten und auch durch die Beobachtung gefunden worden. Die einseitige Belastung der Horizontalaxe bewirkt trotz der Stärke der Letzteren doch im Zenith einen Kollimationsfehler von 10″, wenn er im Horizont gleich Null ist. STRUVE bestimmte diesen Betrag dadurch, dass er Durchgänge von Zenithsternen bei Ost- und Westlage des Fernrohrs kurz hinter einander beobachtete und diese Beobachtungen am nächsten Tage in umgekehrter Reihenfolge wiederholte. Dadurch erhielt er unter Berücksichtigung der Angaben des Axenniveaus den vierfachen Betrag des Kollimationsfehlers. Obgleich derselbe für die Messung der Zenithdistanzen von geringer Bedeutung ist, hat STRUVE trotzdem diesen Fehler, d. h. die Abweichung der Fläche, welche die Absehenslinie des Fernrohrs beschreibt, von der Ebene eines grössten (Vertikal-)Kreises durch eine entsprechende Neigung der Horizontalaxe beseitigt, soweit er für den über den Horizont gelegenen Theil des Meridians in Betracht kommt.

Die Distanz der Horizontalfäden von einander, sowie deren strenge Geradlinigkeit wurde ebenfalls mittelst des Kollimators bestimmt und die letzte als völlig genügend befunden.[1]) Da die Ablesung des Kreises resp. die Lage des Zenithpunktes allein durch die Ablesung der Libelle β am Mikroskoprahmen zu der Vertikalen in Beziehung gesetzt werden kann, ist deren sichere und besonders sorgfältige Beobachtung, sowie die eben erwähnte Einhaltung kleiner Ausschläge von grosser Bedeutung. Dass aber diese Bezugnahme dann auch vorzügliche Resultate erzielt, zeigen die im Laufe der Jahre mit diesem Instrument bestimmten Sterndeklinationen.[2])

---

[1]) Struve maass die Zenithdistanz einzelner Stellen der Fäden in der Mitte und je 10′ östlich und westlich davon.

[2]) Struve, Descript. de l'observ. de Poulkova S. 142, 143 — Peters, Resultats des observations de l'étoile polaire faites au cercle vertical d'Ertel in Bullt. de la Classe phys.-math., Bd. II, Nr. 20—22 Astron. Nachr. Nr. 509—512, sowie die mehrfachen Abhandlungen von

Die Methode der Beobachtung mit diesem Instrument ist aber nicht die Messung der direkten Meridianzenithdistanzen, sondern W. Struve beschreibt dieselbe etwa folgendermaassen:[1]) In einem Stundenwinkel von etwa vier Zeitminuten östlich des Meridians wird das Fernrohr auf die Zenithdistanz des Gestirns eingestellt und, nachdem dieses im Gesichtsfeld erschienen ist, wenn nöthig noch soweit verstellt, dass der Stern nahe der Mitte des Gesichtsfeldes den Horizontalfaden passirt. Der Moment der Bisektion wird nach der Uhr notirt, die vier Mikroskope und die Stellung der Niveaublase werden abgelesen, danach wird das Instrument um die Vertikalaxe um nahe 180° gedreht und mit Hülfe der Fussschraube u, wenn nöthig, die Niveauangabe wieder der erst abgelesenen nahe gleich gemacht. Darauf wird wiederum das Fernrohr auf die Zenithdistanz des Sternes eingestellt und nochmals der Moment des Durchgangs durch den Horizontalfaden notirt und wieder Mikroskope und Niveau abgelesen. Die Bisektion wird nun in einem einige Minuten betragenden westlichen Stundenwinkel erfolgt sein. Die Kreisablesungen korrigirt wegen des Niveauausschlages und auf den Meridian reducirt werden sodann durch ihre Differenz die doppelte Meridianzenithdistanz des Gestirnes liefern.

Der Einfluss der Schwere auf den Kreis und die Lage der optischen Axe wird hier im Wesentlichen derselbe sein wie bei Durchgangsinstrumenten, ebenso der der Theilungsfehler u. s. w.

C. Zenithteleskope.

Nach Erläuterung dieses wichtigen Instruments als Vertreter der Vertikalkreise, dürfte es angemessen sein, bevor zu den Zenithteleskopen neuester Konstruktion übergegangen wird, noch ein Instrument zu erwähnen, welches einen charakteristischen Typus vertritt, bei dem ebenfalls eine gewisse Besonderheit der Untersuchungen, nämlich die Messung von Zenithdistanzen von geringem Betrage an verschiedenen Orten, aber für möglichst dieselben Gestirne, für deren Anordnung maassgebend war. Es sind dieses die sogenannten Zenithsektoren. Da dieselben jetzt gänzlich durch die gleich näher zu behandelnden Zenithteleskope von allgemeinerer Anwendbarkeit ersetzt sind, will ich nur des Ramsden'schen Zenithsektors hier gedenken und ihn in den Fig. 848 u. 849 zur Darstellung bringen, weil dieses Instrument mit einigen der wichtigsten astronomisch-geodätischen Arbeiten aus dem ersten Drittel des Jahrhunderts besonders eng verknüpft ist,[2]) und daher ein gewisses Interesse beanspruchen kann.

Nyrén über die mit diesem Instrumente ausgeführten Beobachtungen, besonders nach dessen Neutheilung: Nyrén, Untersuchung der Repsold'schen Theilung der Pulkowaer Vertikalkreise (Mémoirs de la Cl. phys.-math. und Bullt. de l'Ac. de St. Petersbourg).

[1]) Struve, Descript. de l'observ. de Poulkova, S. 140.

[2]) Bekanntlich sind mit diesem Instrumente die Polhöhen für die beiden Gradmessungen in England und Dänemark ausgeführt worden, und besonders ist es bei der Gauss'schen Messung in Hannover zum grössten Theile zu diesem Zwecke benutzt worden.

a. Der Ramsden'sche Zenithsektor.

Dieser Zenithsektor besteht aus einem Rahmenwerk AB, welches unten und oben Querverbindungen hat, die die Zapfenlager für die Vertikalaxe, die ebenfalls durch ein Rahmenwerk E gebildet wird, aufnehmen. Dieser Rahmen ladet oben nach beiden Seiten aus und trägt dort die Lager für die hohle Horizontalaxe a des Fernrohrs F, wie es Fig. 849 gut erkennen

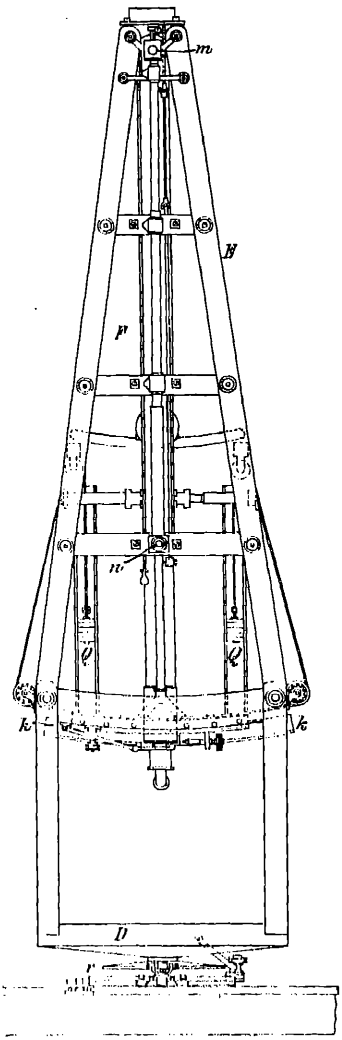


Fig. 848.

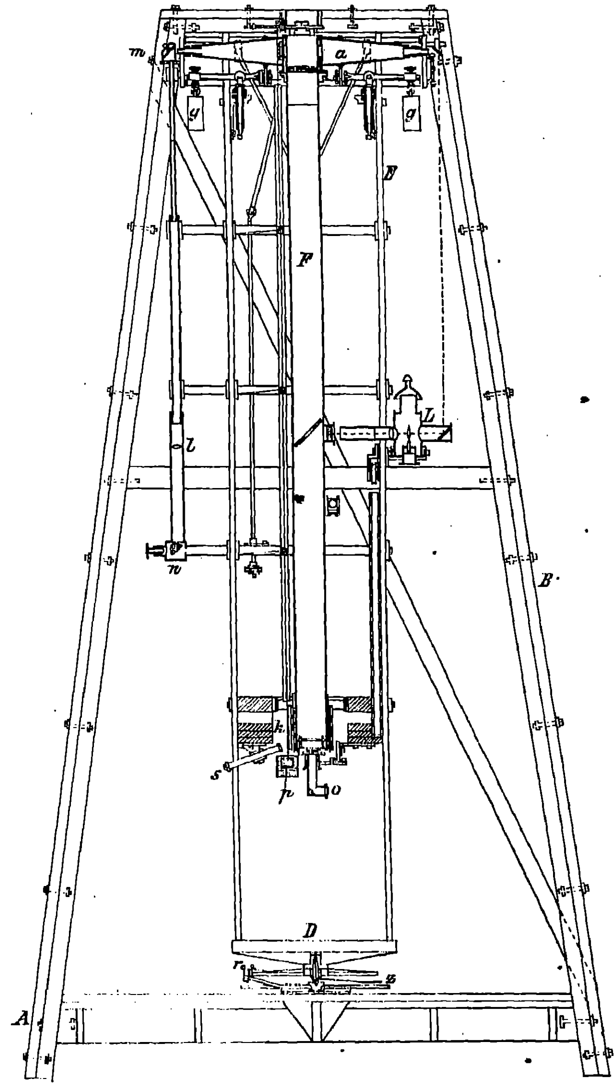


Fig. 849.

(Nach Pearson, Pract. Astronomy.)

lässt. Ganz nahe dieser Axe endigt das Fernrohr mit seinem Objektivende, während es unten, am Okularende o, vor einem Kreissektor sich bewegt, auf dem die kleinen Zenithdistanzen der Absehenslinie gemessen werden können. Der Zenithpunkt wird durch ein in einer Röhre herabgehendes Loth p markirt, dessen Einstellung durch das Mikroskop s erfolgt. Zwecks einer Äquili-

brirung des 8 Fuss langen Fernrohrs mit 4zölligem Objektiv, sind die Gewichte bei g g und Q Q an entsprechenden Hebeln mit Friktionsrollen angebracht. Eine Beleuchtung sowohl des Gesichtsfeldes als auch der Zenithmarken wird durch die Lampe bei L auf sinnreiche Weise durch die längs des Rohres m l n vertheilten optischen Einrichtungen hervorgebracht. Bezüglich sehr detaillirter Beschreibung begleitet von instruktiven Zeichnungen einzelner Theile, muss ich hier aber auf die Originalwerke verweisen.[1])

Wenn Zenithteleskope nach Art der neueren Instrumente dieses Namens auch wohl schon früher gebaut wurden (vergl. z. B. Fig. 48, S. 45 ein solches Instrument engl. Ursprungs), so sind doch erst mit der allgemeinen Aufnahme der Breitenbestimmung nach der Horrebow-Talcott'schen Methode, d. h. durch Differential-Zenithdistanzmessungen neben den speciell zu diesem Zwecke eingerichteten kleinen Durchgangsinstrumenten (siehe dort) die Zenithteleskope zur Anwendung gelangt. Es sollen daher in den folgenden Zeilen einige dieser neuen Instrumente beschrieben werden.

b. Das Zenithteleskop des königlich preussischen geodätischen Instituts.[2])

Dieses in Fig. 850 dargestellte Instrument, ist aus der Werkstätte von Wanschaff hervorgegangen. Es besteht im Wesentlichen aus einem excentrischen, geraden Fernrohr von 68 mm Öffnung und 870 mm Brennweite mit gebrochener Okularröhre, welches mittelst einer 20 cm langen Horizontalaxe — von Lager zu Lager gemessen — und einer 34 cm hohen Vertikalaxe in vertikaler und horizontaler Richtung bewegt werden kann. Die Gesichtslinie ist mittelst eines 7 cm vor dem Fadennetze befindlichen Prismas rechtwinklig abgelenkt, so dass man in allen Lagen des Fernrohrs in bequemer Weise in dasselbe hineinsehen kann. Das Instrument besitzt einen vertikalen und einen horizontalen Einstellungskreis von resp. 24 und 28 cm Durchmesser (vom ersteren nur die untere Hälfte) und zwei Horrebow-Niveaus von Reichel mit je 1,02″ und 0,94″ Winkelwerth für den Niveautheil. Die Niveaus tragen verschiedene Bezifferung (0^p — 40^p und 50^p — 90^p), um jeden Zweifel, auf welches Niveau sich die einzelnen Ablesungen beziehen, auszuschliessen. Der Horizontalkreis ist mit Hülfe zweier gegenüberstehenden Nonien bis auf 0,1′ ablesbar; derselbe gestattet die Lage des Meridians innerhalb derjenigen Genauigkeit zu ermitteln und festzuhalten, welche für die Anwendung der erwähnten Methode der Breitenbestimmung erforderlich ist. Der Kreis ist mit zwei justirbaren Anschlägen versehen, durch welche die Bewegung des Alhidadenarmes begrenzt wird. Durch diese Einrichtung wird die Meridianstellung in bequemer Weise fixirt und eine jedesmalige Ablesung der Nonien überflüssig gemacht, so dass der Übergang von der einen Kreislage zur anderen in der Zeit von etwa 10 Sekunden bewirkt werden kann. Das Fadennetz

---

[1]) Beschreibung von Mudge in Trig. Survey of England and Wales, Bd. II Pearson l. c. S. 533 ff.

[2]) Beschrieben in den Verhandlungen der allgemeinen Konferenz der internationalen Erdmessung (Berlin 1895). Bericht des Herrn Prof. Th. Albrecht, aus welchem auch mit gütiger Erlaubniss des Verfassers die Figur entnommen ist.

besteht aus einem mikrometrisch verschiebbaren, horizontalen Faden, mit welchem die Einstellungen der Sterne ausgeführt werden, einem festen horizontalen Doppelfaden in der Mitte des Gesichtsfeldes, zwei festen, horizontalen Fäden in je 10^R Abstand vom Mittelfaden, welche die Grenzen bezeichnen,

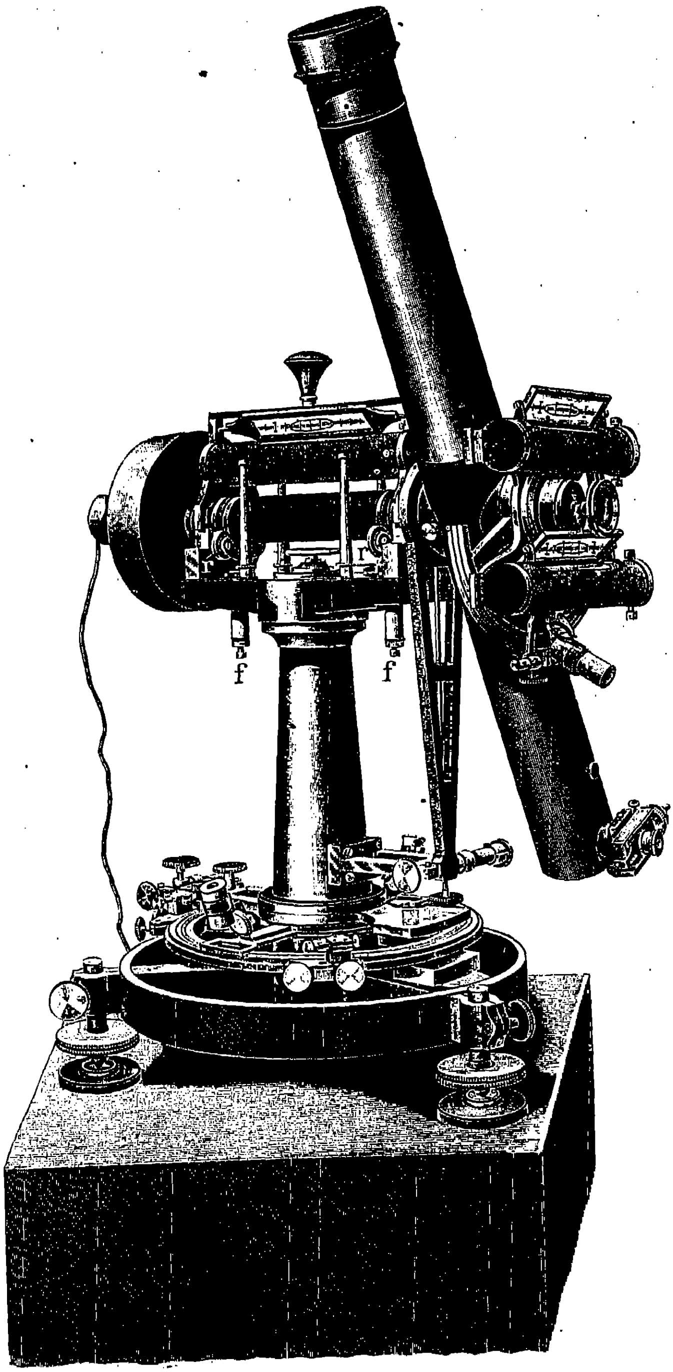


Fig. 850.

innerhalb deren die Messungen ausgeführt werden sollen, und fünf vertikalen, festen Fäden von bezw. — 24ˢ34, — 12ˢ14, + 12ˢ11 und + 24ˢ32 Äquatoreal-Fadendistanz. Dadurch kann mittelst dieses Instruments auch eine den Ansprüchen der Reduktion der Beobachtungen genügende Zeitbestimmung erlangt und auch der Stundenwinkel der Pointirungsstelle für die Zenithdistanz mit Leichtigkeit mit der erforderlichen Schärfe bestimmt werden.

Im Übrigen lässt die Zeichnung die Gesammtanordnung des Instruments mit vorzüglicher Ausführlichkeit erkennen. Besonders wäre nur noch auf die Art der Äquilibrirung der Horizontalaxe hinzuweisen, welche hier durch die beiden Federbüchsen ff, in denen die Scheeren für die Friktionsrollenpaare rr ihre Führung haben, bewirkt wird; dadurch wird wohl die Reibung in den Axenlagern vermindert, aber eine Biegung der Axe wegen der Belastung durch das Fernrohr und das Gegengewicht kaum ganz vermieden.

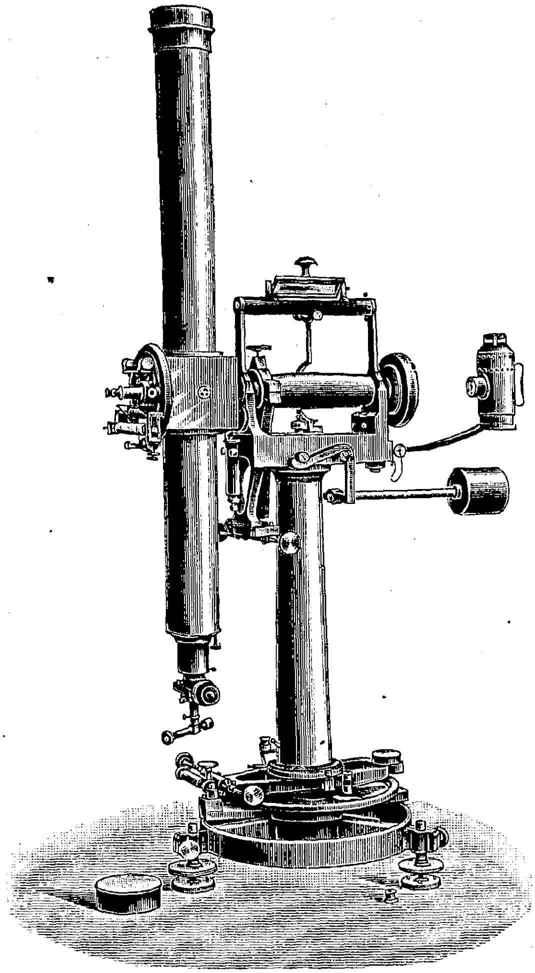


Fig. 851.

Etwas mehr ist dieses der Fall in dem in Fig. 851 dargestellten, sonst sehr ähnlich gebauten Zenithteleskop von BAMBERG (jetzt in Leipzig), bei welchem die Unterstützung des Obertheiles durch die ausserhalb des einen Axenlagers und daher näher an der optischen Axe angebrachten Friktionsrollen erfolgt. Ausserdem ist bei diesem Instrument der Lagerträger durch einen besonderen Hebel und ein Gegengewicht in Bezug zur Vertikalaxe äquilibrirt, es ist dadurch, wenn auch die Anordnung etwas umständlicher ist, doch eine zu grosse Beschwerung der Horizontalaxe an beiden Enden vermieden, deren verderblicher Wirkung bei dem Instrument des geodätischen Instituts nur durch die grosse Stärke dieser Axe entgegengewirkt wird. Bei dem Bamberg'schen Instrument sowohl als auch bei dem bezüglich des Obertheiles etwas einfacher, d. h. ohne Gegengewichte und Friktionsrollen gebauten Zenithteleskop der Firma SÄGMÜLLER, welches Fig. 852 zeigt, ist das die optische Axe rechtwinklig brechende Prisma erst hinter der Fadenplatte, also zwischen dieser und dem Okular,

angebracht. Welche Gründe bei der Anorur
bauten Instruments für die Einschaltung zwiscuun
maassgebend waren, ist mir nicht bekannt geworden; der leuzierer (Prisma zwischen Fadenplatte und Okular) dürfte aber wohl der Vorzug deshalb zu geben sein, weil dadurch zwischen diejenigen beiden Punkte, welche die Absehenslinie direkt definiren, kein Zwischenglied eingeschoben wird. Freilich ist die Handhabung der Mikrometerschraube bei der Form des dem geodätischen Institute gehörigen Instruments wohl etwas bequemer und der gewohnten Lage mehr entsprechend, was vielleicht ein sichereres Pointiren mit den beweglichen Fäden bewirken mag.

Was die Beleuchtung des Gesichtsfeldes anlangt, so sind die Instrumente von BAMBERG und SÄGMÜLLER noch für gewöhnliche Lampen, das des geodätischen Instituts aber für elektrische Glühlampen eingerichtet.

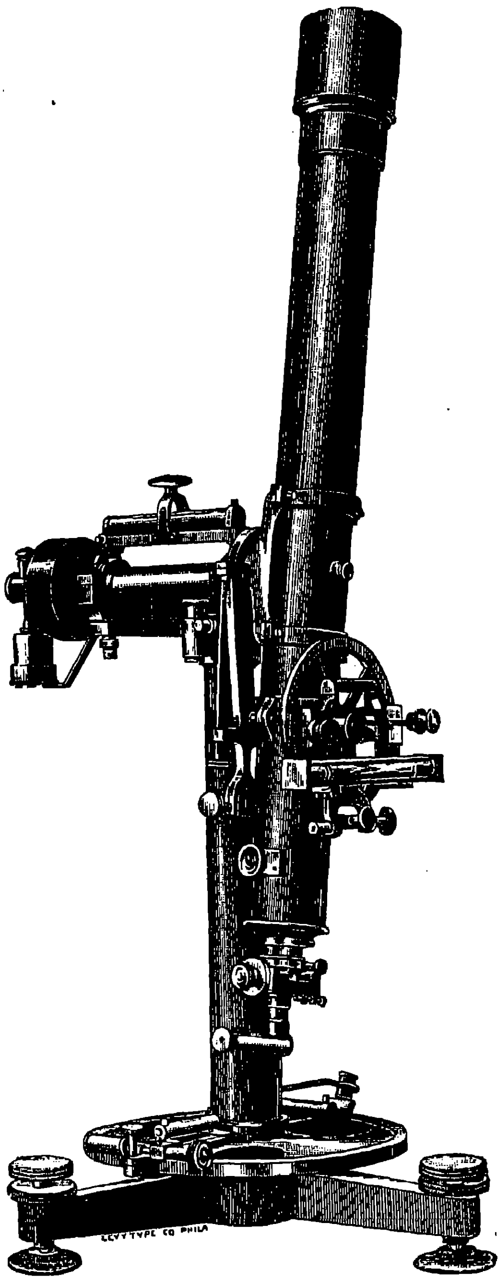


Fig. 852.

Fig. 853 zeigt ein Zenithteleskop besonders einfacher Konstruktion, wie es vor einigen Jahren nach Prof. H. BRUNS' Angabe angefertigt wurde; dasselbe ist für Reisezwecke bestimmt und hat in den Händen Dr. HAYN'S bei Ortsbestimmungen im australischen Archipel sehr gute Dienste gethan. Da das Instrument zugleich einen Vertikalkreis besitzt zur Messung absoluter Zenithdistanzen und nicht nur deren Differenzen, wie die früher erwähnten Instrumente, ist es mit einer etwas genaueren, durch Schätzungsmikroskope ablesbaren, Kreistheilung versehen. Ausserdem ist auf der dem Hauptfernrohr entgegengesetzten Seite der Axe zur leichteren Auffindung der Gestirne eine Art Sucher angebracht. Die Umlegung resp. Drehung um 180° geschieht durch eine einfache Hebeleinrichtung, deren einer Arm gleichzeitig als Hand-

habe zur Einstellung im Azimuth dient. Die übrige Konstruktion dürfte nach dem oben Mitgetheilten ohne Weiteres aus der Figur zu ersehen sein.[1])

Zum Vergleich der verschiedenen Konstruktionen einzelner Werkstätten giebt die Fig. 854 auch noch ein Instrument dieser Art, wie es jetzt HILDEBRAND in Freiberg baut und Fig. 855 ein solches der Firma WARNER & SWASEY. Wenn dieselben gegen die oben ausführlicher beschriebenen Instrumente

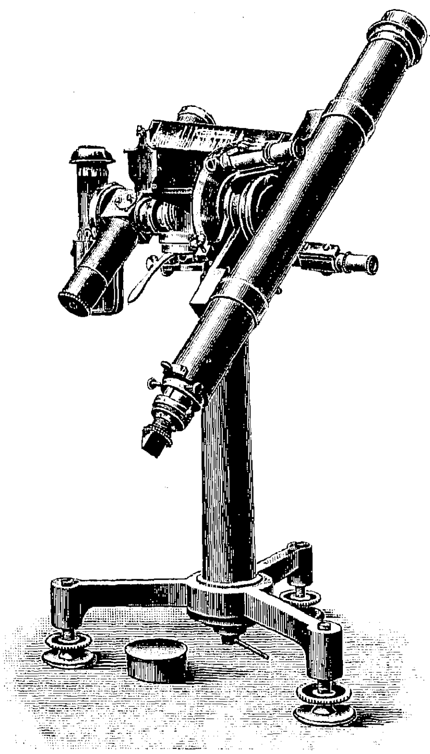


Fig. 853.

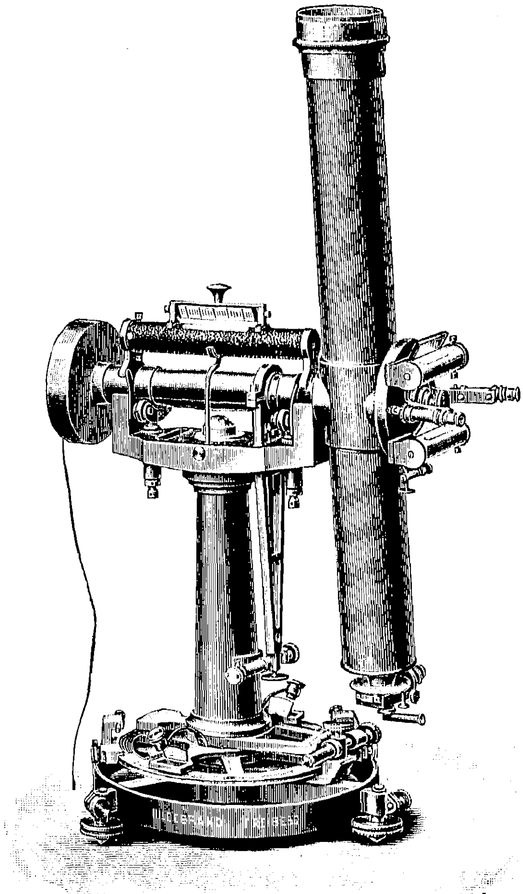


Fig. 854.

auch keine principiellen Verschiedenheiten aufweisen, so dürfte ein Vergleich der verschiedenen Typen dem Fachmanne doch manche Eigenthümlichkeiten erkennen lassen, die von Interesse sind.

c. Der Almukantar nach CHANDLER.

Wie schon an anderer Stelle erwähnt, hat man in neuerer Zeit den Angaben der Libellen, auch der besten, in mancher Beziehung ein gewisses Misstrauen entgegengebracht. Aus diesem Grunde sind den besseren Zenith-

[1]) Eine ausführlichere Beschreibung befindet sich in: Dr. Hayn, Astron. Ortsbestimmungen im deutschen Schutzgebiete der Südsee. Herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt 1897.

teleskopen, deren exakte Angaben ja im Wesentlichen auf der mit dem Fernrohr verbundenen Libelle beruhen, schon meist zwei solcher beigegeben, welche sich gegenseitig kontroliren sollen. Einen anderen Weg hat aber S. C. CHANDLER in Cambridge (Mass.) eingeschlagen; er hat die exakte Horizontirung nicht auf Libellen, sondern nach dem Vorgange Capt. KATER's (bei seinen schwimmen-

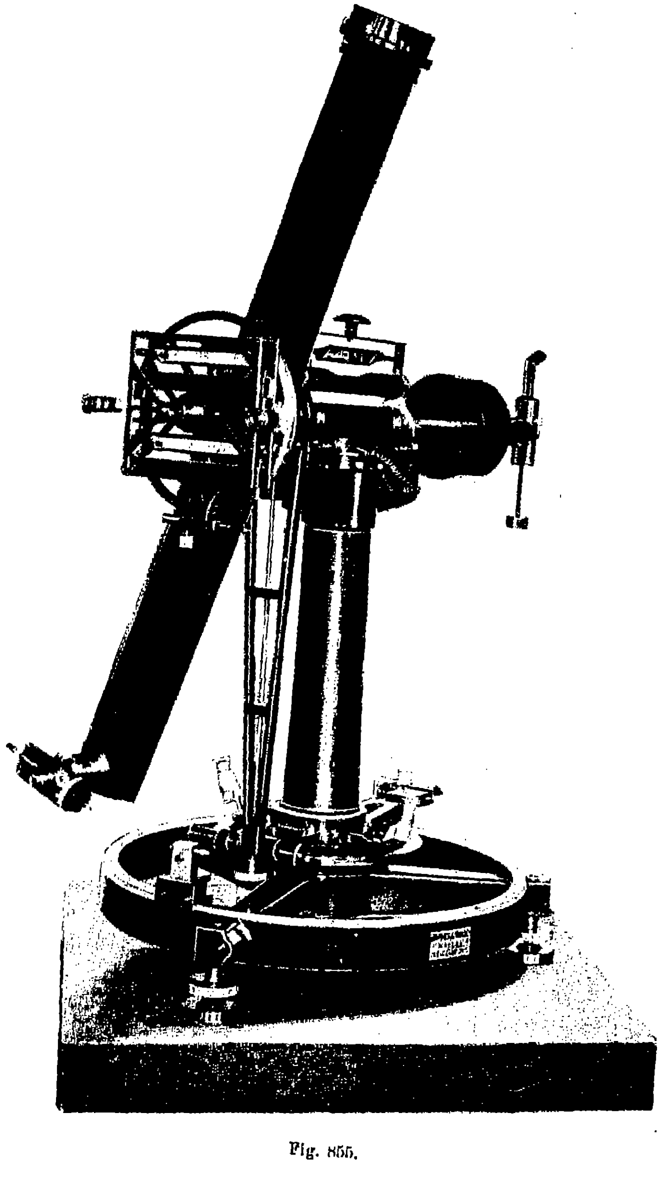


Fig. 855.

den Kollimatoren) auf das Princip des Quecksilberhorizontes gegründet, d. h. darauf, dass er eine gegebene Stahlplatte auf einem solchen Horizont grösster Dimension schwimmen lässt. Das von ihm gebaute Instrument, der Almukantar, ist in Fig. 856 dargestellt. Es zeigt diese Figur das Instrument nicht in seiner ursprünglichen Form, wie es von CHANDLER in den Annalen

des Harvard-College[1]) beschrieben und abgebildet worden ist, sondern in der verbesserten Gestalt, die die Astronomen des Georgtown-College dem Instrument gegeben haben und die zugleich an demselben die photographische Methode der Beobachtung resp. Fixirung der Sternwege im Gesichtsfeld eingeführt haben, wie sie es schon in Bezug auf die Zeitbestimmung an dem oben beschriebenen Photochronographen gethan.[2])

Das massive Untertheil des Instruments besteht aus einer starken, gusseisernen Platte von nahe $^3/_4$ m im Quadrat, welche durch die vier Schrauben s horizontirt werden kann und mit diesen auf einem durch eine Eisenplatte gedeckten Pfeiler steht. Auf der Platte befindet sich die äusserst stark gehaltene Säule S. Diese wird oben von einem Ring umfasst, auf welchem ein gusseiserner Trog T von 46×16 engl. Zoll Oberfläche und $1^3/_4$ Zoll Tiefe ruht, der sich auf ihm um eine durch die Säule gehende vertikale Axe drehen lässt. Durch zwei Anschläge A wird die Meridianstellung bezeichnet, ein Horizontalkreis ist nicht angebracht. Der Trog dient zur Aufnahme von etwa 50 Pfund Quecksilber, auf dem eine mit einem eisernen Rahmen eingefasste, die Höhlung fast ganz ausfüllende Holzplatte H schwimmt. An seiner unteren Seite hat der Trog eine mit einem Hahn versehene Ausflussöffnung h zum Reguliren der Quecksilberhöhe. Der Boden des Troges ist mit Cement ausgegossen, weil derselbe nicht aus einem einzigen Stück hergestellt ist und daher das Quecksilber sonst durch die Fugen durchdringen würde. Um die Bewegung des Quecksilbers zu mässigen, ist der Cementboden nicht geglättet und auch die schwimmende Holzplatte unten durch einen sandhaltigen Firnissüberzug rauh gemacht.[3])

Auf der Platte sind die Lager für die Drehungsaxe des Fernrohrs F befestigt. Ausserdem ist mit der Platte noch eine in der Figur nicht sichtbare Axe fest verbunden, die mit zwei, an ihren äusseren Enden sitzenden, nach unten gerichteten Schneiden versehen ist. Diese liegen mit ganz geringem Druck, nur um die Azimuthstellung des Fernrohrs zu sichern, in zwei an dem Trog befestigten justirbaren Lagern. Die Fernrohraxe trägt auf der einen Seite das Fernrohr F und einen zur Klemmvorrichtung gehörigen Kreis K_1, auf der anderen einen eben solchen Kreis K_2, beide von 1 Fuss Durchmesser, dann den durch ein Glühlämpchen beleuchtbaren Einstellungskreis E und noch weiter aussen ein verschiebbares Gegengewicht für das Fernrohr. Dieses wird durch zwei an der Peripherie der Kreise an zwei gegenüberliegenden Stellen angreifende Klemm- und Feinbewegungen mit den Kreisen selbst und der schwimmenden Holzplatte in feste Verbindung gebracht. Die Bewegung erfolgt mittelst der bei R sichtbaren Handräder.

---

[1]) Ann. of the Harvard Coll., Bd. 17 (The Almukantar, a new instrument for the determination of time and latitude).

[2]) Vergl. das Referat von O. Knopf in Zschr. f. Instrkde. 1893, S. 150 und die Originalarbeit in den Publ. of the Georgtown College: The Photochronograph applied to determinations of Latitude, Washington 1892.

[3]) Vergl. dazu: The Vertical, Etudes sur la Verticale, par M. D'Abbadie, Association Française pour d'Avancement des Sciences. Congrès de Bordeaux 1872, S. 6.

Das Objektiv hat 6 Zoll Öffnung und 3 Fuss Brennweite. Achromatisirt ist es für die photographisch wirksamen Strahlen. Dadurch lässt es auf der Platte noch die Spur eines durch das Gesichtsfeld gehenden Sternes bis zur 7. Grösse erkennen.

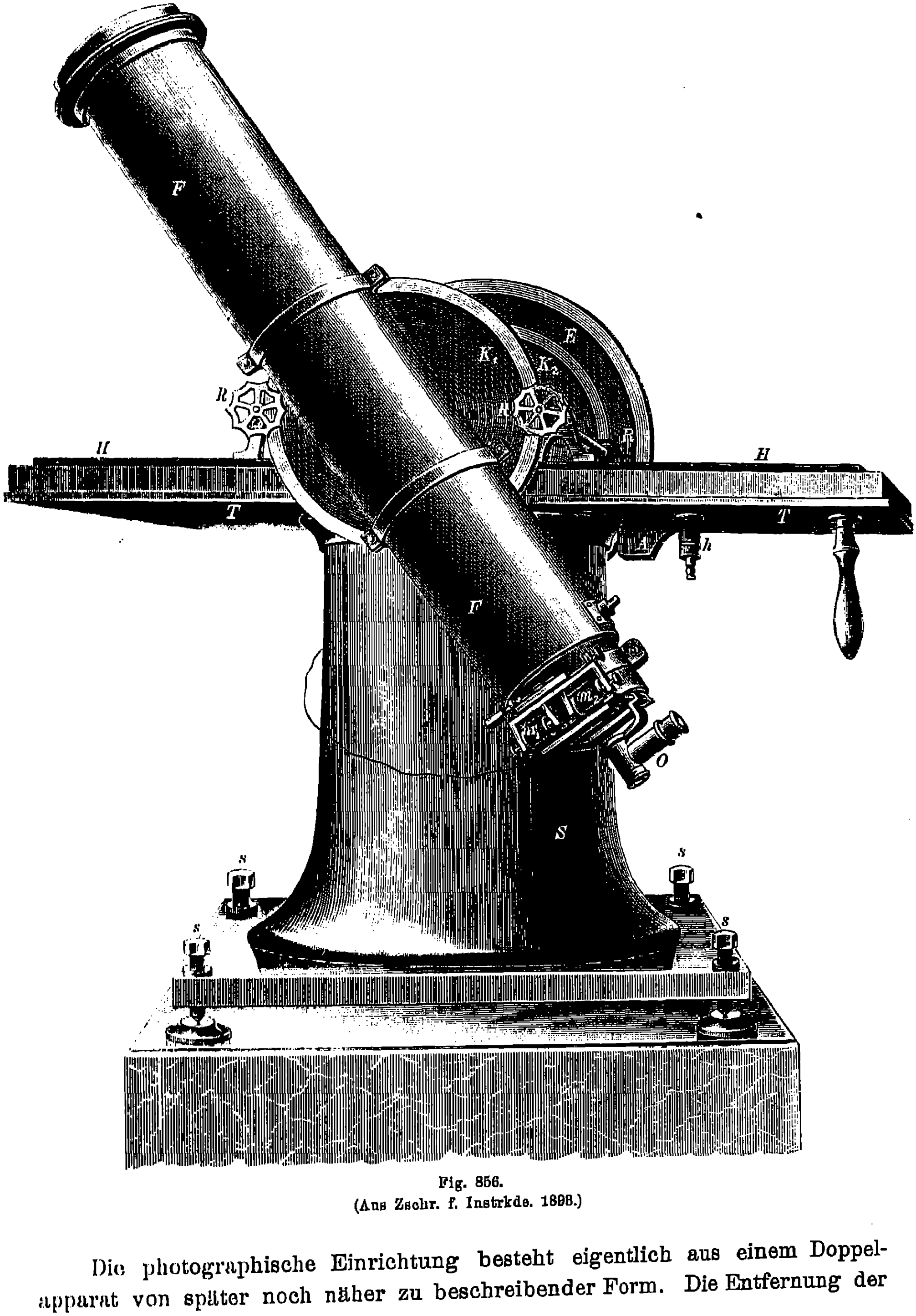


Fig. 856.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1898.)

Die photographische Einrichtung besteht eigentlich aus einem Doppelapparat von später noch näher zu beschreibender Form. Die Entfernung der

beiden Elektromagneten m_1 und m_2 wird durch die Differenz der Zenithdistanzen der beiden Sterne bestimmt, da jede Zunge einen der beiden Sterne, die ihre Wege auf der Platte aufzeichnen sollen, auch abzublenden im Stande sein muss. Um dem Fall zu genügen, dass die von den Sternen beschriebenen Wege auf der Platte sehr nahe an einander fallen, liegt die eine Zunge etwas hinter der anderen, so dass sie sich ein wenig überdecken können.

Während bei der Anwendung des Photochronographen zu Zeitbestimmungen der Stromschluss jede Sekunde auf die Dauer von $^1/_{10}$ Sekunde stattfindet, ist hier, wo es sich meist um schwächere Sterne handelt, die Einrichtung so getroffen, dass der Strom nur alle zwei Sekunden und zwar auf die Dauer einer Sekunde geschlossen wird; bei der kurzen Brennweite des Objektivs würden die Bildpunkte, wenn sie jede Sekunde entworfen würden, auch zu nahe aneinander fallen. Die helleren Sterne werden nur auf Bruchtheile der Sekunde exponirt. Das Auslassen dreier Punkte am Ende einer Minute und eines Punktes in der Mitte sichert die bequeme Identificirung der übrigen Bildpunkte.

Zur Einstellung der Zunge auf den Stern dient ein Okular O mit total reflektirendem Prisma. Ist die Einstellung geschehen, so wird die photographische Platte eingeschoben und zur Verhinderung einer Lagenänderung durch Federn fest gegen den Tubus gedrückt.

Durch ein auf die Axe des Instruments aufsetzbares Niveau muss die Horizontirung in beiden Lagen des Troges und des Fernrohrs mit grosser Sorgfalt ausgeführt werden.

Die Beobachtungen werden so angestellt, dass man zunächst die beiden Zungen des Photochronographen in eine der Differenz der Zenithdistanzen der beiden Sterne entsprechende Entfernung zu einander bringt. Sodann stellt man mit Hülfe des Vertikalkreises das Fernrohr auf die mittlere Zenithdistanz der beiden Sterne ein. Hat man den zuerst kulminirenden Stern durch das Okular am Rande des Gesichtsfeldes erscheinen sehen, so verschiebt man die beiden Elektromagnete des Photochronographen so weit, dass der Stern von der einen Zunge verdeckt oder nicht verdeckt wird, je nachdem der Stromkreis geschlossen oder offen ist. Dann schiebt man die photographische Platte ein. Hat der Stern in ein bis zwei Minuten das Gesichtsfeld durchlaufen, so dreht man das Instrument in horizontalem Sinne um 180^0, worauf der zweite Stern sich in derselben Weise auf der Platte photographiren wird.

Der Abstand der beiden Punktreihen auf der Platte giebt die Differenz der Zenithdistanzen und kann mittelst eines Mikrometermikroskops ausgemessen werden. Fügt man die Hälfte dieser Differenz zu dem Mittel der Deklinationen der beiden Sterne, so erhält man nach Anbringung der etwa nöthigen Korrektionen die gesuchte Polhöhe.[1])

[1]) Sind die beiden Sternspuren auf der Platte einander nicht parallel, so ist das ein Beweis, dass die Axe nicht gut horizontirt war oder dass das Fernrohr in der einen Lage nicht genau im Meridian gestanden hat. Eine derartige Platte ist nicht verwendbar. Folgen die beiden Sterne nach wenigen Minuten Zwischenzeit auf einander, so kann es vorkommen, dass das Quecksilber, welches durch die Umdrehung des Troges in Bewegung gerathen ist,

Ein besonderer Vorzug des Instruments soll darin bestehen, dass das Fernrohr bei der Aufnahme der beiden Sterne genau dieselbe Zenithdistanz hat, während bei den übrigen Zenithteleskopen die Zenithdistanz des Rohrs nur mit Hülfe eines Niveaus kontrolirt werden kann.

d. Das Reflexzenithteleskop.

Wie es scheint, haben die Erwartungen, welche man an diese Methode der Erhaltung der konstanten Zenithdistanz der Absehenslinie des Fernrohrs geknüpft hatte, sich doch nicht ganz bewährt, was wohl der technischen Anordnung zur Last zu legen sein dürfte, keinesfalls aber der an sich ganz gewiss durchaus berechtigten Ersetzung des Niveaus durch den Quecksilberhorizont, die nach jeder Richtung hin zu befürworten sein dürfte.[1]) Die Folge war, dass die Astronomen des Georgetown-Coll. im Verein mit der Werkstätte von Sägmüller in Washington noch zwei andere Formen des Zenithteleskops ausführten, bei denen wohl die photographische Aufzeichnung der Zenithdistanzdifferenz beibehalten, aber die übrige Einrichtung wesentlich abgeändert wurde. Fig. 857 zeigt eines dieser Instrumente, welches als „Reflexzenithteleskop" bezeichnet werden kann.[2]) Dasselbe hat das Aussehen eines gewöhnlichen Durchgangsinstruments, es besitzt aber kein Okular, sondern an beiden Enden des Rohres je ein photographisches Objektiv, welche beide sehr nahe die gleiche Brennweite von 64 cm bei einer Öffnung von 10,5 cm haben. Diese Objektive gestatten noch Sterne bis zur 7. Grösse zu photographiren. Die Brennebenen beider Objektive fallen zusammen. Zur Vermeidung von Biegung sind beide Rohre R mit starken Streben a mit dem Kubus verbunden. Die Axe des Instruments ist auf den 93 cm hohen Ständern TT, eines eisernen Unterbaues, gelagert. Die Zenithdistanzen können an dem mittelst Glühlicht bei g erleuchteten Kreis K eingestellt werden.

Dient das Instrument nur als Durchgangsinstrument, so wird nur das eine Objektiv benutzt, sollen aber Polhöhen nach der Horrebow-Talcott'schen Methode bestimmt werden, so treten beide Objektive in Thätigkeit; es wird dann die optische Axe auf die mittlere Zenithdistanz beider Sterne eingestellt und durch das nach oben gerichtete Objektiv zunächst der im Norden oder Süden stehende Stern photographirt. Von dem auf der anderen Seite des Zeniths befindlichen Gestirne liefert dann das nach unten gerichtete Objektiv in derselben Ebene ein Bild, nachdem die Strahlen durch einen geeignet aufgestellten Quecksilberhorizont in das Objektiv reflektirt wurden. In der gemeinsamen Brennebene der beiden Objektive befindet sich die photographische Platte, welche durch Federn mit der lichtempfindlichen Schicht gegen eine zweite feste Glasplatte gleicher Dicke angedrückt wird; dadurch

bis zur photographischen Aufnahme des zweiten Sternes noch nicht ganz zur Ruhe gekommen ist. Die Punktreihe der Sternbilder wird dann die Form einer Wellenlinie haben, die mittlere Lage der Punkte lässt sich jedoch leicht aus den Einzelmessungen finden.

[1]) Vergl. auch den in den Astron. Nachr. Bd. 133, S. 81 gemachten Vorschlag.

[2]) Die Idee zu diesem Instrument rührt von Prof. J. Algué, S. J., her. Es ist gewissermassen eine Erweiterung des von Airy bei seinem Zenithteleskop, welches gleich nachher beschrieben wird, angewandten Princips.

haben beide die Bilder erzeugenden Strahlenbündel eine Glasplatte in gleicher Weise zu passiren, ehe das Bild zu Stande kommt, wodurch der Einfluss einer geringen Strahlenbrechung eliminirt werden soll. Die Orientirung auf der photogr. Platte erfolgt mit Hülfe zweier gekreuzter Linien, welche in die Gegenplatte eingeschnitten sind und deren Bilder durch eine kurze Belichtung auf der photographischen Platte mit erhalten werden (ähnlich wie es bei den ganzen Liniennetzen der photographischen Refraktoren ausgeführt wird). Die Bestimmung resp. Berichtigung der Kollimationsfehler (horizontal und vertikal) erfolgt durch geeignetes Umlegen und Drehen des Instruments um 180^0 mit Hülfe von Pointirung auf weit entfernte Marken. In Fig. 858 mag Z das Zenith, S den südlichen, N den nördlichen Stern im Meridian bedeuten und ZO das Mittel beider Zenithdistanzen. Sind dann A u. B die beiden Objektive, PP_1 die Bildebene mit der photographischen Platte und QQ_1 der Quecksilberhorizont, so wird der nördliche Stern direkt, der südliche nach Reflexion im Quecksilberhorizont photographirt werden. Bei völlig korrigirtem Instrument wird in P_0 der Kreuzungspunkt der beiden Striche liegen, welche als Orientirungsmarke dienen. Die Sternspuren würden dann z. B. nach s und nach n zu liegen kommen; damit würde die Differenz der Zenithdistanzen gleich der Summe $P_0n + P_0s$, es würde also einer genauen Kenntniss der Lage des Punktes P_0 bedürfen. Diese wird umgangen, wenn man noch ein zweites Sternpaar aufnimmt, aber in umgekehrter Lage des Fernrohrs, wodurch die Lage von P_0 eliminirt wird, resp. dessen Lage (der vertikale Kollimationsfehler) bestimmt werden kann. Auf ähnliche Weise durch Wechsel zwischen reflektirter und direkter Beobachtung lässt sich auch der Fehler der Biegung unschädlich machen. Da jedoch sehr nahe dem Zenith kulminirende Sterne auf diese Weise nicht mehr beobachtet werden

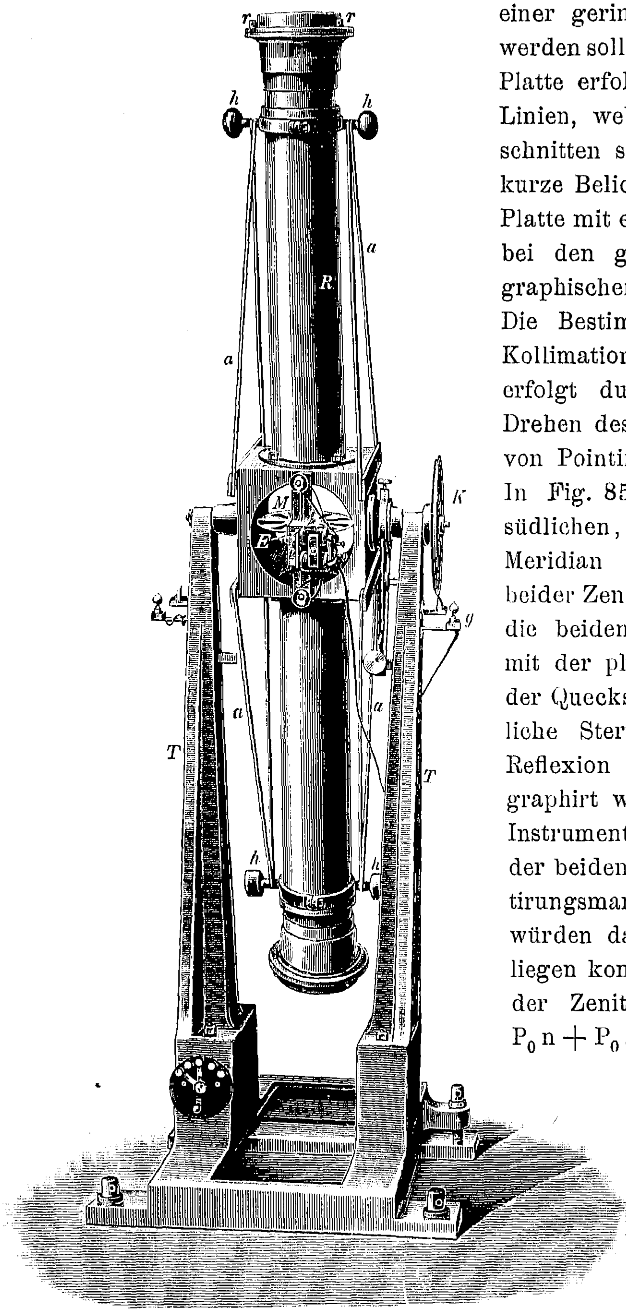


Fig. 857.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1894.)

können, so wird gerade die Eliminirung des letzteren Fehlers von grosser Bedeutung, und es ist fraglich, ob sie sich ganz erreichen lässt.

e. Die Anwendung der Photographie bei Zenithteleskopen gewöhnlicher Form.

Auch durch Anwendung des Photochronographen an einem den gewöhnlichen Zenithteleskopen ähnlichen Instrumente, welches die Fig. 859 zeigt, hat man auf der Sternwarte des Georgetown-Colleges die Genauigkeit, Bequemlichkeit und die rasche Aufeinanderfolge der Beobachtungen der einzelnen Sternpaare zu erhöhen gesucht. Die Zuhülfenahme eines Quecksilberhorizonts ist hier wieder ganz ausser Betracht gelassen, und an dessen Stelle sind wieder zwei Libellen eingefügt. Es mögen hier nur einige kurze Angaben über dieses Instrument folgen. Das Objektiv hat eine Öffnung von 6 engl. Zoll und eine Brennweite von 35 Zoll. Sterne 6. und 7. Grösse sind bei einer Expositionszeit von einer Sekunde noch gut auf der Platte zu erkennen, selbst zur Zeit des Vollmondes. Der Okularauszug, welcher behufs genauer Fokusirung mit einer Längstheilung versehen ist, trägt die Kassette, die zur Aufnahme von $2^1/_2 \times 1^1/_2$ Zoll grossen Platten eingerichtet ist.

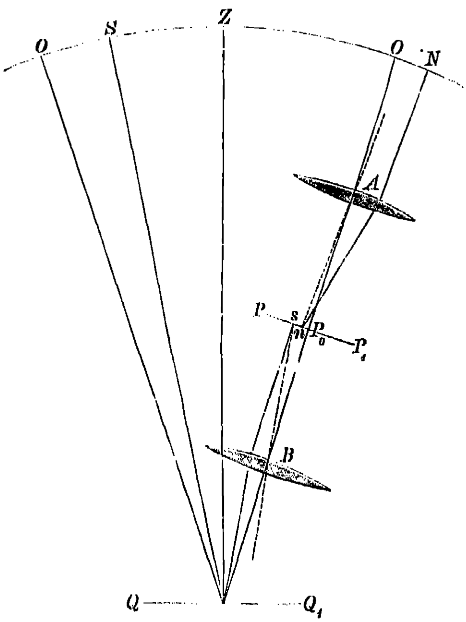


Fig. 858.

Der zur Einstellung des Rohrs dienende Höhenkreis hat 17 Zoll im Durchmesser und ist von 5 zu 5 Minuten getheilt, mittelst einfachen Index kann noch bis auf $^1/_2'$ eingestellt werden. Kreis und Fernrohr befinden sich an entgegengesetzten Seiten der Axe, so dass ersterer als Gegengewicht für letzteres dient. Ein Azimuthalkreis ist nicht vorhanden, weil das Fernrohr nur im Meridian gebraucht werden soll. An dem horizontalen, mit drei Fussschrauben versehenen Ring, welcher die Basis des Instruments bildet, befinden sich zwei Anschlagklötzchen, von denen eines in der Figur sichtbar ist. Die vertikale wie die horizontale Axe des Instruments ist mit Klemme und Feinbewegung ausgestattet. Zur Kontrole der Neigung der Horizontalaxe dient ein auf dieser ruhendes Niveau. Die beiden Höhenniveaus stehen mit einander in fester Verbindung und können auf einer Fortsetzung der Fernrohraxe zugleich angeklemmt werden.

Am Okularende des Fernrohrs, und zwar am Hauptrohr ist der Photochronograph befestigt. Die Expositionszeit variirt von $^1/_{10}$ Sekunde bis zur Dauer des ganzen Durchgangs (im letzteren Falle wird der Durchgang durch den Meridian durch eine Unterbrechung der Expositionszeit markirt).

Was die Bestimmung der Aufstellungsfehler dieses Instruments anlangt, so kann hier füglich auf das im Kapitel „Durchgangsinstrumente“ Gesagte verwiesen werden; nur bezüglich der Gewinnung des Maassstabes für die Auswerthung der Resultate, welche die photographische Platte enthält, sei noch

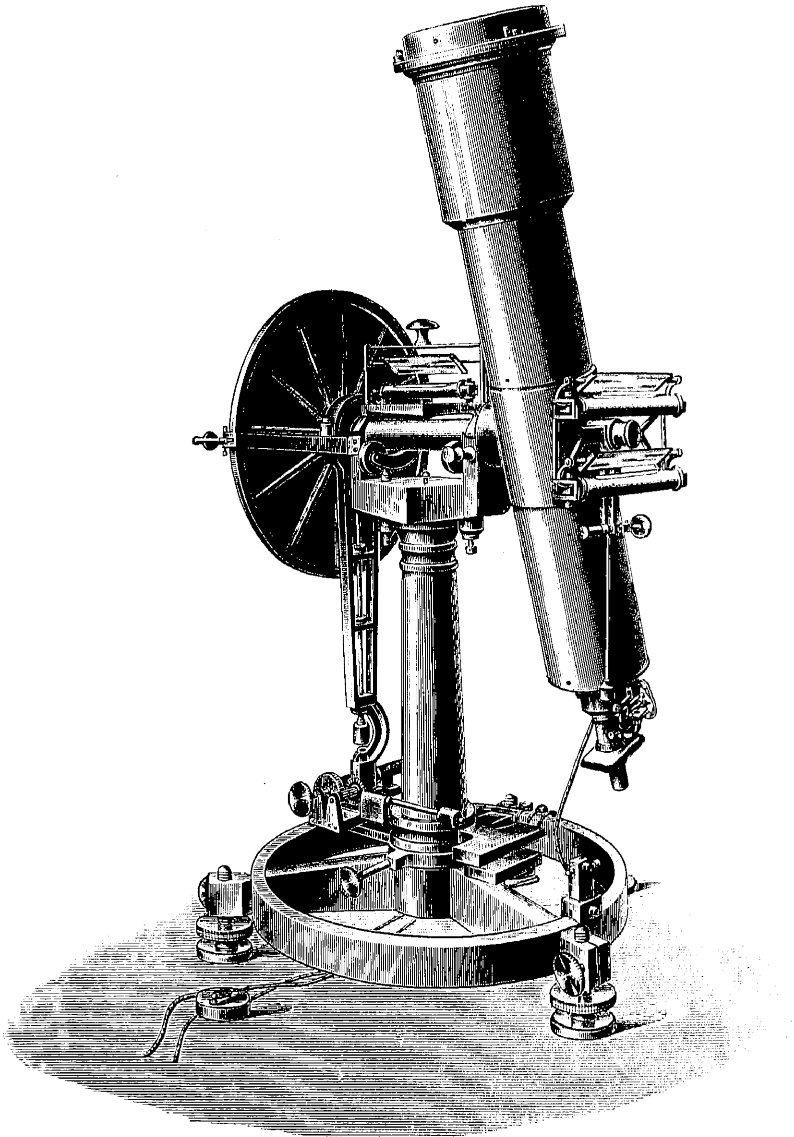


Fig. 859.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1895.)

angeführt, dass derselbe durch die Ausmessung der Distanz der Punkte erhalten werden soll, die ein Stern zu bestimmten Zeiten hervorgebracht hat, dass man aber nach Gewinnung dieses Maassstabes auch den Winkelwerth eines Theiles der Libellen auf analoge Weise zu bestimmen versuchte. Es geschah dieses dadurch, dass man vor der Aufnahme eines Sternes die Blasen

der Libellen möglichst weit auf die eine Seite brachte und während des Sterndurchgangs das Rohr mittelst der Feinschraube in Zenithdistanz so weit verstellte, dass die Blase sich möglichst weit nach der anderen Seite bewegte. Die Anzahl Theilstriche, um welche die Blase gewandert ist, entspricht dann dem Abstand zwischen den beiden Theilstücken der Sternspur, welcher unter dem Mikroskop auszumessen und in Bogenmaass auszudrücken ist.

Als interessant dürften hier vielleicht noch die Resultate anzuführen sein, welche man mit den verschiedenen geschilderten Instrumenten der Georgetowner Sternwarte als Polhöhen für diesen Ort gefunden hat.[1])

Geograph. Breite	Instrument,
38° 54′ 26,07″ . . .	Meridiankreis,
26,02 . . .	Schwimmendes Zenithfernrohr,
25,84 . . .	Reflektirendes Zenithfernrohr,
26,01 . . .	Photographisches Zenithfernrohr gew. Art.

A. Marcuse hat auch das oben S. 883 schon beschriebene Wanschaff'sche Zenithteleskop für die Anwendung der Photographie eingerichtet und ist so zur Konstruktion des in Fig. 860 dargestellten Instruments gelangt; er hat dasselbe näher in einem Bericht an die Generalkommission der internationalen Erdmessung[2]) beschrieben und auch später mit dem Instrument erhaltene Resultate veröffentlicht und diskutirt.[3]) Dr. Marcuse beschreibt das Instrument etwa wie folgt:

„Das photographische Fernrohr, dessen Objektiv von Steinheil hergestellt ist, hat bei einer Öffnung von 135 mm (etwa 5 Zoll) eine Brennweite von 1355 mm; es gestattet, deutlich messbare Spuren von Sternen bis zur Grössenklasse 7,2 photographisch aufzunehmen, wobei auf der empfindlichen Platte der Lineargrösse von 0,001 mm ein Winkelwerth von 0,152″ entspricht. Vor dem Objektiv ist noch ein kurzes Rohr von 25 cm Länge angesetzt nach Art einer Thaukappe, um seitliches Licht abzuhalten. Am Okularende des Rohrs befindet sich in Verbindung mit dem durch eine Mikrometerschraube verstellbaren Auszug eine bis auf $^1/_{50}$ mm ablesbare Skala, um die Fokalstellung für die photographische Platte genau bestimmen und einhalten zu können. Am Ende des geraden Rohrs wird eine kleine, runde, sorgfältig abgedrehte Metallkassette lichtdicht von unten mit Bajonettverschluss eingeschoben. Von aussen wird dieselbe durch einen mit kräftigen Federn versehenen Schraubendeckel verschlossen, welcher die Ränder der eingelegten Platte gegen eine unveränderliche Metallebene drückt. Nach dem Objektivende

[1]) Vergl. zu den vorstehenden Beschreibungen vor allem die Originalmittheilungen in den Publ. des Georgetown-College und die einzelnen Referate von Dr. O. Knopf in der Zschr. f. Instrkde., welchen ich auch hier im Wesentlichen gefolgt bin. Weiterhin auch den Aufsatz von F. Küstner in Astron. Nachr., Bd. 126, S. 233.

[2]) Verhandlungen der elften in Berlin abgehaltenen allgemeinen Konferenz der internationalen Erdmessung (über die photogr. Bestimmung der Polhöhe u. s. w.) Die Figur ist im Wesentlichen nach einer mir von Herrn Marcuse gütigst zur Verfügung gestellten Photographie geschnitten.

[3]) Über die photogr. Bestimmung der Polhöhe siehe Astron. Nachr., Bd. 141, S. 361, weiterhin auch den Bericht der Herren Schnauder und Dr. Hecker zu Potsdam über die mit dem erwähnten Instrument erhaltenen Resultate und ferner Astron. Nachr., Bd. 142, S. 135.

hin wird die Kassette durch einen Deckel geschlossen, der nach dem Einsetzen der Kassette in das Fernrohr, von aussen geöffnet oder geschlossen werden kann. Im Auszug des Fernrohrs befindet sich in der Ebene des chemischen Fokus und in der optischen Axe des Objektivs gelegen ein feiner, geschwärzter, vertikaler Stahlfaden, der an einem rahmenartigen Träger befestigt, von aussen zurückgeklappt werden kann. Während der Sternaufnahmen liegt dieser Faden dicht über der empfindlichen Schicht und bezeichnet durch eine kleine Unterbrechung der Sternspur den Moment des Meridiandurchgangs. Um das Fernrohr während der Aufnahme eines Polhöhensternpaares nicht zu berühren, wird die Platte nicht mit dem Kassettendeckel, sondern durch Hin- und Herschieben einer horizontalen, im Spalt des Beobachtungsraumes dicht über dem Objektiv befindlichen, dunklen Gardine belichtet und zugedeckt. Diese Vorrichtung gestattet auch, ein einfaches, photographisches Signal zur Identificirung von zwei fast gleich hellen Sternen eines Paares zu geben. Für die Belichtung der Platten genügen 15 Zeitsekunden vor und nach dem Meridiandurchgang eines Sterns im Äquator, wodurch Striche von etwa 3 mm Länge entstehen.

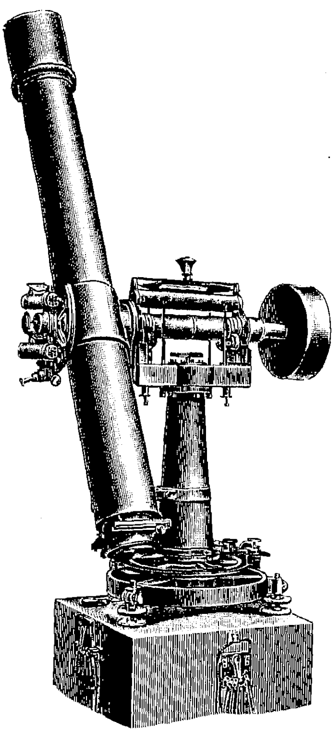


Fig. 860.

Als photographische Platten ergaben die Schleussner'schen Trockenplatten von dünnem Spiegelglas, mit Rodinal entwickelt, die günstigsten Resultate für das vorliegende Problem."

Da die Ansichten über die Anwendung der Photographie zu dieser Art von Beobachtungen und über die zweckmässigste Einrichtung der nöthigen Instrumente noch einigermassen getheilt sind, mag hier von einem weiteren Eingehen auf diese Instrumente abgesehen werden, nur kann noch erwähnt werden, dass die mittleren Fehler der nach der direkten Methode bestimmten Polhöhen und die auf photographischem Wege ermittelten unter sonst gleichen Umständen nicht erheblich von einander verschieden sind und etwa auf $\pm 0{,}1''$ bis $\pm 0{,}15''$ für das Resultat aus einem Sternpaar angesetzt werden müssen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, dass die Elimination eines Theiles der physiologischen Fehler der direkten Methode durch den Umweg, welchen man bei der Photographie zur Auswerthung der Resultate zu machen hat und welcher namentlich die Bestimmung des „Skalenwerthes" aus speciell zu diesem Zweck gemachten Aufnahmen (z. B. der Plejadensterne) in sich schliesst, aufgewogen werden dürfte.[1])

[1]) Vergl. dazu auch die in Anmerkung 3 auf voriger Seite erwähnten Abhandlungen. Für die internationalen Stationen zum Studium der Breitenänderungen ist die direkte Methode gewählt worden.

f. Airy's Zenithteleskop.

Auch zur Erreichung ganz besonderer Zwecke hat man Instrumente konstruirt, welche so eingerichtet sind, dass die optischen Axen der betreffenden Fernrohre ganz bestimmte Zenithdistanzen möglichst unveränderlich beibehalten. Namentlich die englischen Astronomen haben solche Instrumente z. B. zur Bestimmung der durch Präcession, Aberration und Nutation hervorgebrachten Positionsveränderungen des Polarsterns angewendet. Doch ist man auch davon wieder abgekommen, weil eben die Instrumente doch nicht unveränderlich aufgestellt werden konnten und ihnen dann meist die Einrichtung fehlte, um die thatsächlich auftretenden Lagenänderungen der

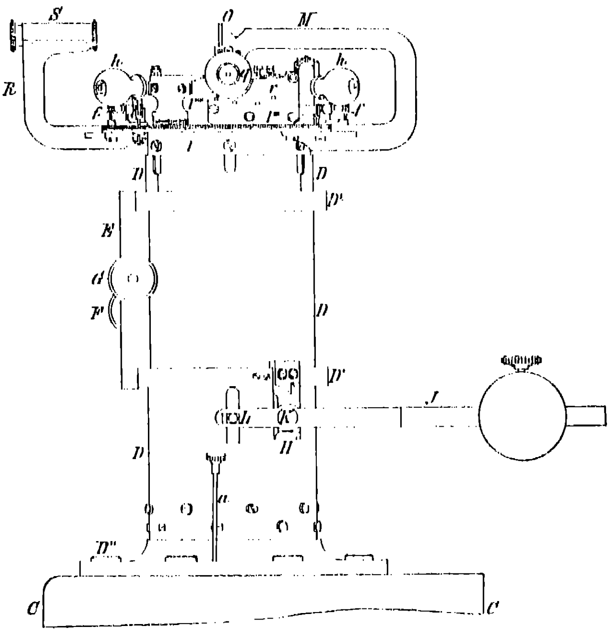


Fig. 861.

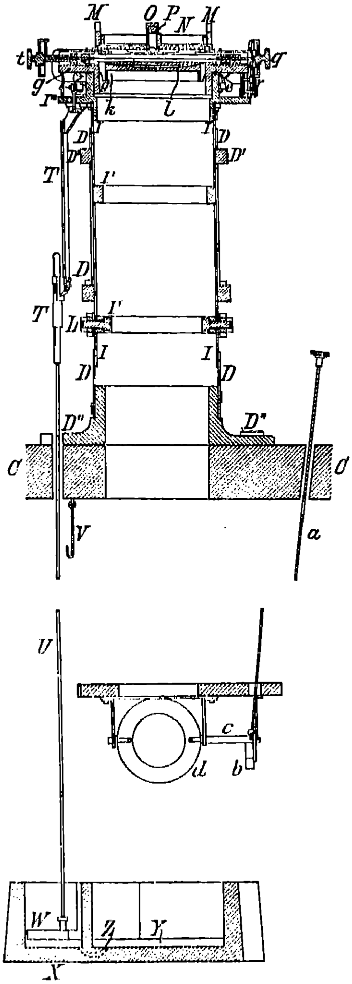


Fig. 862.

Absehenslinie mit genügender Schärfe zu bestimmen. Nur eine einzige Form dieser Instrumente hat sich erhalten, und zwar dasjenige, welchem der Name Zenithteleskop ganz besonders zukommt, weil es thatsächlich vermöge seiner ganzen Anordnung genau nach dem Zenith gerichtet ist. Es ist dies der „Reflex-Zenith-Tube", welcher nach Airy's Angaben von Simms für die Greenwicher Sternwarte gebaut wurde. Die Fig. 861 u. 862 stellen dieses Instrument nach den in den „Greenwich Observations" von 1854 gegebenen Originalen in zwei auf einander senkrechten, vertikalen Querschnitten

dar.[1]) Das senkrecht stehende Rohrtheil D D ruht auf einem mit dem Ringe D″ verbundenen bockähnlichen Theile C C und trägt an seinem oberen Ende den Ring J J‴, welcher wiederum den Armen R und M als Stütze dient. Ausserdem dreht sich in sicherer Führung auf dem Rohre der Ring g g, mit welchem die Fassung des mit seiner optischen Axe vertikal gerichteten Objektivs l fest verbunden ist. Über diesem befindet sich der Mikrometerkasten mit den beiden Schrauben t und q, von denen die eine, t, einen Fadenschieber bewegt, welcher direkt auf der Fassung des Objektivs aufliegt und seinerseits dem Mikrometerwerk der Schraube q als Unterlage dient, so dass also bei dem Bewegen von t das Fadensystem der Schraube q mitgenommen wird. Dieses letztere also dient zur eigentlichen Einstellung der Sternbilder. Das Okular dieses Fernrohrs besteht aus vier Linsen, von denen sich drei in der auf dem Arme R ruhenden Fassung S befinden, welche alle senkrecht zum Objektiv auffallende Strahlen vorbei lässt, während die vierte Linse sich am unteren Ende des senkrechten Röhrchens P befindet. In O umfasst dieses Röhrchen noch ein rechtwinkliges Reflexionsprisma, wodurch die in senkrechter Richtung von unten durch die vierte Linse hindurchgehenden Strahlen nach dem horizontalen Theile des Okulars reflektirt werden. Das Röhrchen wird durch die beiden Stangen N gehalten, welche die Bügel M M diametral zum Objektiv verbinden.

Den Ring g gestattet eine Klemme gegen das Rohr festzustellen, so dass beide gleichzeitig an einer Rotation um die optische Axe des ganzen Instruments theilnehmen.

Betreffs der weiteren Details muss ich aber hier auf die Figur, welche dieselben sehr gut erkennen lässt und weiterhin auf die Originalabhandlung verweisen.

In einer Entfernung, welche die Hälfte der Brennweite des Objektivs beträgt, befindet sich senkrecht unter demselben ein Quecksilberhorizont;[2]) an dessen Oberfläche werden also Strahlen, welche von einem Gestirn sehr nahe dem Zenith kommen, durch das Objektiv hindurch tretend reflektirt werden und nahe in der Mitte des Objektivs, etwas oberhalb desselben ein Bild des Sterns entwerfen. Die Reflexion an dem Quecksilberhorizonte wird also bewirken, dass der reflektirte Strahl um ebensoviel gegen die Vertikale geneigt ist wie der eintretende, nur im diametral entgegengesetzten Sinne. Die Folge davon wird weiterhin sein, dass Ortsveränderungen des Gestirns und zwar bei seinem Durchgange durch den Meridian im Sinne der Deklination sich durch die Veränderung des Abstandes seines Bildes von der Kollimationslinse (Vertikalen) des Instruments kund geben. Wird man also während eines Durchgangs mittelst des Mikrometers, sowohl wenn der Schraubenkopf q nach Süden, als auch wenn er nach Norden gerichtet ist, die Stelle des Bildes bestimmen und ausserdem die Angabe der Schraube

[1]) Das Original enthält noch eine interesssante Detailzeichnung.

[2]) Nach vielfachen Versuchen über die beste und stabilste Form dieses Horizontes, welche die Oberfläche des Quecksilbers namentlich gegen kurze Erschütterungen sichert, hat Airy später die in Fig. 84 dargestellte Form gewählt; vergl. Greenwich Observations, Einleitung zu den einzelnen Bänden, Absatz: Refl. Zenith-Tube.

ablesen, bei welcher sich der betreffende Faden mit seinem eigenen Bilde durch Autokollimation deckt, so wird man die Zenithdistanz des Gestirns bei jedem zu beobachtenden Meridiandurchgang bestimmen können. Ein solches Gestirn, welches sowohl Tag und Nacht bei jeder oberen Kulmination in Greenwich in diesem Instrument gesehen werden kann und welches ausserdem sehr nahe dem Zenith vorbeigeht ist z. B. der Stern 3. Grösse γ Draconis. Zum Zwecke der Beobachtung der Veränderungen der Deklination desselben hat Airy das Reflex-Zenith-Fernrohr speciell gebaut. Er wollte damit auf Grund der beobachteten Deklinations-Änderungen die Konstanten der Aberration und Nutation und die Polhöhe von Greenwich bestimmen. Auch andere Sternwarten, welche nicht zu weit vom Parallel von Greenwich entfernt liegen, haben im Anschluss an diese Greenwicher Beobachtung die regelmässigen Bestimmungen der Zenithdistanzen dieses Sternes mit in das Beobachtungsprogramm aufgenommen, weil sich auf Grund der Greenwicher Daten zugleich sehr gute Deklinationen von γ Draconis ergeben, und daher dieser Stern zur Bestimmung der Polhöhe insofern wohl geeignet ist, als bei der Bestimmung seiner Zenithdistanz die Biegung des Fernrohrs (falls er, wie oben vorausgesetzt, etwa innerhalb 1^{0} vom Zenith kulminirt) ohne Einfluss ist und auch zur Bestimmung des Nadirpunktes sehr nahe oder vielleicht genau dieselben Theilstriche benutzt werden, wie bei den Ablesungen der Mikroskope für die Einstellung auf den Stern selbst.

Die neueren Methoden der Polhöhenbestimmungen, bei denen Kreisangaben überhaupt nicht mehr in Betracht kommen, haben die Bedeutung der Beobachtungen direkt im Zenith sehr herabgesetzt.

D. Instrumente zur Beobachtung konstanter Höhen.

Zum Schluss möchte ich noch einige Zeilen einer Art von Instrumenten widmen, welche ebenfalls den Zweck haben, Beobachtungen in ganz bestimmten Zenithdistanzen auszuführen, mögen dieselben nun zur Bestimmung der Zeit (Methode korrespondirender Höhen) oder der Polhöhe dienen.[1] Es sind dieses die Reflexions- oder Prismeninstrumente, welche in den letzten Jahren durch Professor Beck in Riga und von Chandler (unter dem Namen Chronodeik) angegeben und auch zum Theil durch die Firma Breithaupt resp. von Hartmannn & Braun ausgeführt worden sind. Zum Verständniss des Princips, auf welchem sie beruhen, wird es genügen hier zwei derselben kurz zu beschreiben, wobei zu bemerken ist, dass ohne Frage die zu Grunde liegenden Gesichtspunkte Aufmerksamkeit verdienen, da die Konstanz der in den Messungen auftretenden Winkel bei den Beck'schen Instrumenten auf der völligen Unveränderlichkeit bestimmt geformter Prismen und ihre Orientirung fast ausschliesslich auf der Benutzung des Quecksilberhorizonts beruht.[2]

1) z. B. nach Gauss' Methode der drei gleichen Höhen. Vergl. auch die Methode der Breite- und Zeitbestimmungen aus dem Durchgang mehrerer Gestirne durch denselben Höhenkreis.

2) Prof. Beck hatte auch einen Ersatz des Quecksilberhorizontes, namentlich in Hinsicht auf die Schwierigkeiten, welche die Ruhe von dessen Oberfläche in der Nähe belebter Strassen u. s. w. bereitet, durch eine Planglasplatte in Verbindung mit empfindlichen Libellen versucht, doch möchte ich diesem Instrumente kein so gutes Proknostikon stellen als dem oben erwähnten.

Fig. 863 stellt das eine dieser Instrumente dar, bei welchem die totale Reflexion an den Seiten eines bestimmt geformten Prismas p die Sterne dann in der optischen Axe des senkrecht gestellten Fernrohrs erscheinen lässt, wenn dieselbe die Zenithdistanz 60° erreichen. Zwei genau plane Seiten des Prismas p sind so zu einander geneigt, dass sie einen Winkel von 120° mit

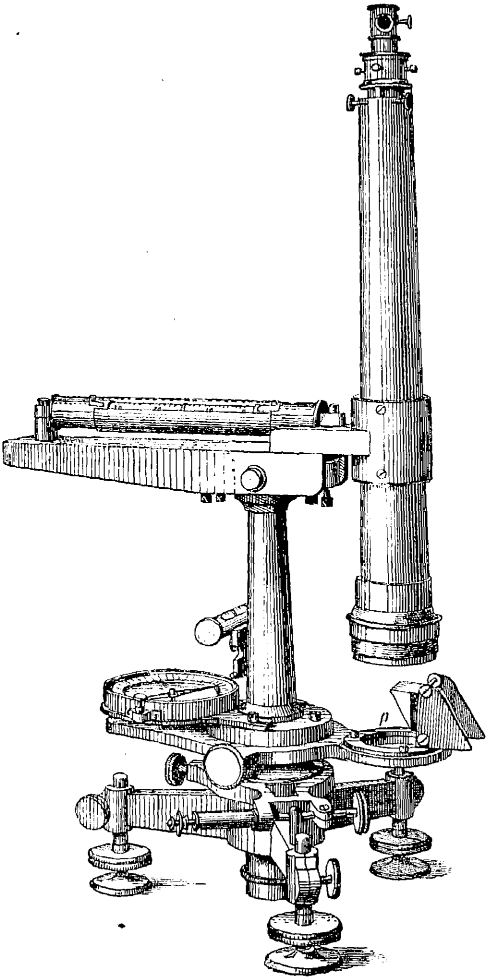


Fig. 863.

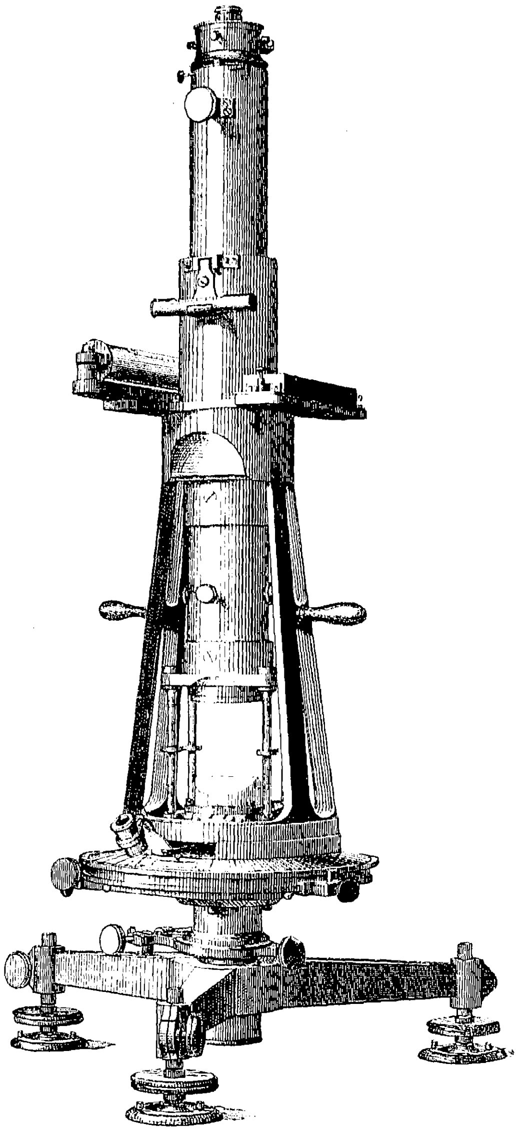


Fig. 864.

einander einschliessen und die anderen beiden dann einen Winkel von 60° zwischen sich fassen. Ein mit einer Zenithdistanz von 60° eintretender Strahl wird dann durch die ihm zugewandte Seite senkrecht hindurchgehen, an der horizontalen Grundfläche total reflektirt werden und nach nochmaliger totaler Reflexion die obere Fläche wieder senkrecht passirend in das Fernrohr gelangen. Es ist klar, dass bei der Höhenänderung des Gestirns dessen Bild

das Gesichtsfeld und die darin ausgespannten Fäden passiren wird, und dass die Antritte des Gestirns an diese sowohl im Osten des Meridians beim Steigen als auch im Westen bei abnehmender Höhe desselben beobachtet werden können. Wenn nun mit Hülfe eines Quecksilberhorizonts, gleichzeitig die Autokollimation der Fäden beobachtet werden kann, wodurch die Lage des Fernrohrs und des fest mit ihm verbundenen Prismas kontrolirt wird, so ist damit die für die Durchgangszeiten absolut gleiche (scheinbare) Höhe des Gestirns im Osten und Westen gesichert. Die Einfachheit dieses Vorgangs und die Genauigkeit der von STEINHEIL in München hergestellten Prismen haben einen guten Erfolg dieser Instrumentenkonstruktion erreichen lassen, dem nur die mehrfache Reflexion und die Durchdringung verhältnissmässig dicker Glasschichten bezüglich der Güte und Helligkeit der Bilder etwas Abbruch thun dürfte. Dieses ist auch zum Theil die Veranlassung zur Konstruktion des zweiten Instruments gewesen, bei dem ausser einigen anderen Vereinfachungen bezüglich der Bauart, namentlich die innere totale Reflexion und der Durchgang des Lichts durch das Prisma vermieden ist. Fig. 864 zeigt das neuere Instrument, welches Prof. BECK in den Astron. Nachr. Bd. 136 S. 225 ff. etwa folgendermassen beschreibt: Das vertikale Fernrohr hat 43 cm Brennweite, 40 mm Objektivdurchmesser und nahezu 40fache Vergrösserung. Es ist um eine vertikale Axe drehbar, zu welcher es centrisch angeordnet ist. Der Unterbau des Instruments ist derselbe wie beim gewöhnlichen Repetitionstheodoliten. Das Fernrohr, welches mit dem Objektiv nach unten gerichtet ist, wird durch vier starke Stützen getragen, welche auf einem mit der Alhidade fest verschraubten Ring aufstehen und das Fernrohr in seiner Mitte fassen.

Es sind zwei Gruppen von je sieben parallelen, zur optischen Axe symmetrisch gelegenen Durchgangsfäden vorhanden, welche von zwei anderen dazu senkrecht stehenden durchschnitten werden; zwischen diesen wird der Stern beim Durchgang gehalten.

Die zwei reflektirenden Flächen des Doppelspiegels sind an einen cylindrischen Glaskörper geschliffen, der unterhalb des Objektivs in möglichst fester Verbindung mit demselben angebracht ist; sie sind für äussere Reflexion versilbert, und gegen den Horizont gleich und zwar um 60^0 geneigt.

Der Spiegelträger hat die nöthigen Justirvorrichtungen, um die Spiegelaxe senkrecht zur Kollimationsaxe und parallel zu den Durchgangsfäden machen zu können. Die kreisförmige Platte, auf welcher das Prisma festgekittet oder durch einige Tropfen Lack festgehalten ist, steht mit einer darunter liegenden zweiten Platte durch drei Stellschrauben mit Federn in Verbindung. Diese zweite Platte wird auf einer dritten durch eine von unten wirkende centrale Schraube so fest gehalten, dass sie um die Vertikale etwas drehbar ist, und diese dritte Platte wird durch vier Stäbe gehalten, welche am Objektivkopf durch Schrauben befestigt sind.

Mit dem Fernrohr ist in der Mitte desselben eine feine Libelle fest verbunden, welche senkrecht zur Spiegelaxe steht und vertikal und horizontal justirbar ist ($1^p = 2{,}7''$). Senkrecht zu dieser Libelle und etwas höher als dieselbe ist an dem Fernrohr noch eine kleine, wenig empfindliche Libelle zur schnellen Orientirung angebracht.

Die Beleuchtung des Fadennetzes kann durch eine Lampe bewirkt werden, deren Licht direkt oder durch diffuse Reflexion von einer weissen Papierfläche auf denjenigen Spiegel trifft, auf welchen das Licht des Sterns nicht fällt.

Mit Hülfe einer länglichen Bussole, welche in der Mitte des Fernrohrs mit demselben fest verbunden ist, kann die genäherte Einstellung des Azimuths jederzeit leicht gemacht werden.

Für die Justirung des Instruments ist es nöthig, dass die vertikale Drehungsaxe richtig steht, was durch die Libelle bewirkt wird; ausserdem muss aber auch die Kollimationsaxe des Fernrohrs vertikal sein. Um das zu erreichen wird auf vier Ringe, welche sich an den Trägern des Prismas befinden, ein Quecksilberhorizont aufgesetzt und die Spiegelbilder der Fäden werden durch Verstellen der Fadenplatte mit diesen selbst zur Deckung gebracht. (Das Licht wird, wie in dem Gauss'schen Okular, durch ein kleines Blättchen von Spiegelglas, welches unter 45° gegen die optische Axe geneigt ist, auf die Fäden geworfen.) Im Übrigen muss nur noch gefordert werden, dass die beiden spiegelnden Flächen des Prismas um gleiche Winkel gegen den Horizont geneigt sind.

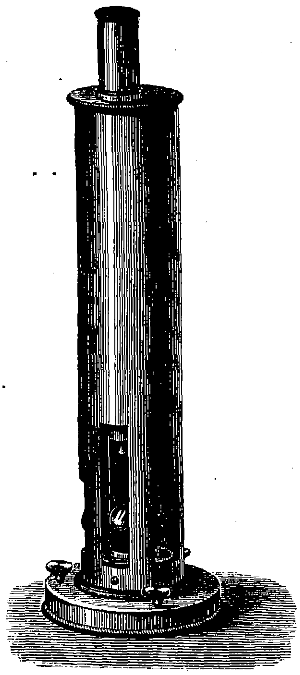


Fig. 865.

Die Beobachtung eines Sterns geschieht in folgender Weise: Man stellt am Horizontalkreis auf das vorausberechnete Azimuth des Sterns ein und notirt die Uhrzeiten für die Durchgänge durch die eine Gruppe der Fäden, wobei man auch so oft als möglich die Libelle abliest. Hierauf dreht man die Alhidade um 180°, und beobachtet nach der Drehung die Durchgänge durch dieselbe Fadengruppe in gleicher Weise. Die Fäden mögen bezeichnet werden mit a, b . . . g; g′, f′ . . . a′, wobei a und a′ die beiden äussersten sein sollen, die beiden Spiegelflächen mit I und II und entsprechend die beiden Lagen der Alhidade bei der Beobachtung des Sterns als Lage I und Lage II. Soll nun die Fädengruppe a . . . g benutzt werden, so ist z. B. ein Stern westlich vom Meridian zuerst in Lage I und dann in Lage II, ein Stern östlich vom Meridian zuerst in Lage II und dann in Lage I zu beobachten; umgekehrt für die Fädengruppe a′ . . . g′; dann wird man in ähnlicher Weise, wie bei korrespondirenden Höhen mit anderen Instrumenten, die erforderlichen Daten zur Bestimmung der Kulminationszeit erhalten und zwar unabhängig von Fadendistanzen und Prismenwinkeln.

In dem Chandler'schen Instrument, Fig. 865, ist ein kleines Fernrohr in einer dasselbe umschliessenden Hülse nach Art eines Pendels aufgehängt, so dass die Absehenslinie desselben immer vertikal gerichet ist. Vor dem unten befindlichen Objektiv ist ein um eine Horizontalaxe drehbarer Spiegel angebracht. Wird nun die Hülse mit dem Fernrohr um eine senkrechte Axe

gedreht, so können für gleiche Stundenwinkel bei konstanter Neigung des Spiegels gleiche Höhen der Gestirne beobachtet werden.

Indem ich aber betreffs der eingehenden Theorie dieser Instrumente hier nur auf die unten citirten Originalarbeiten verweisen kann,[1]) möchte ich zur Erläuterung als Beispiel eine mit dem zuletzt beschriebenen Beck'schen Instrument erhaltene Beobachtung kurz anführen.

„1894 Mai 3. wurde in einem Zeitraum von $3^h\ 5^m$ eine Serie von 13 Sternen beobachtet. Da bei einer so langen Serie eine etwaige Veränderlichkeit des Uhrganges die Genauigkeit beeinträchtigen könnte, so wurde die ganze Serie in zwei Gruppen abgetheilt, welche 7 resp. 6 Sterne enthalten. Aus jeder dieser Gruppen wurde Polhöhe, Uhrkorrektion und Instrumentalfehler gesondert durch Ausgleichung und zwar wie folgt erhalten."

Gruppe I.

Stern	Gr.	Azimuth	Prismenwinkel (W) + Neigung	v
α Persei	2,0	+ 136°	60° 1′ 60,87″	— 0,40″
δ Cassiop.	2,8	+ 160	60,75	+ 0,44
ζ Herculis	2,6	— 103	61,58	+ 1,29
γ Virginis	3,3	— 23	61,96	— 0,82
σ H. Cephei	4,8	— 153	63,95	— 1,50
ζ Virginis	3,3	— 27	60,96	+ 0,30
α Aurigae	1	+ 129	59,59	+ 0,68

Resultat der Ausgleichung:

$\varphi = 56^{\circ}\,57'\,7{,}52'' \pm 0{,}46''$

$\Delta u = +3{,}01'' = +0^{s}{,}20 \pm 0^{s}{,}07$

$W = 60^{\circ}\,2'\,1{,}11''$, w. F. $\pm 0{,}32''$

W. F. einer Zenithdistanz $\pm 0{,}79''$.

Gruppe II.

Stern	Gr.	Azimuth	Prismenwinkel + Neigung	v
α Lyrae	1	— 116°	60° 1′ 61,66″	+ 1,17″
109 Virginis	3,6	— 37	62,14	— 0,21
β Aurigae	2,0	+ 127	59,09	+ 0,14
2 H. Camelop.	4,6	+ 160	58,69	+ 1,58
χ Cassiop	4,3	— 171	63,83	— 2,49
η Virginis	3,3	+ 27	59,86	— 0,22

Resultat der Ausgleichung:

$\varphi = 56^{\circ}\,57'\,7{,}05'' \pm 0{,}66''$

$\Delta u = +3{,}94'' = +0^{s}{,}26 \pm 0^{s}{,}10$

$W = 60^{\circ}\,2'\,0{,}81'' \pm 0{,}53''$

W. F. einer Zenithdistanz $\pm 1{,}24''$.

[1]) Wegen der näheren Details und bezüglich der eingehenden Studien, welche Prof. Beck über die Verwendung von Prismen zu astronomischen Instrumenten angestellt hat, sind nachzusehen die verschiedenen Abhandlungen desselben in Astron. Nachr. und Zschr. f. Instrkde. Das Chandler'sche Chronodeik findet sich z. B. beschrieben und abgebildet in Zschr. f. Instrkde. 1881, S. 130.

Siebzehntes Kapitel.

Durchgangsinstrumente und Meridiankreise.

1. Durchgangsinstrumente.

Als die wichtigsten der fest aufgestellten Instrumente können gewiss die Durchgangs- oder Passagen-Instrumente und Meridiankreise bezeichnet werden. Es sind, abgesehen von sehr wenigen Ausnahmen (vergl. Altazimuth und Zenithteleskop) die einzigen, mit denen man sogenannte absolute Beobachtungen mit Vortheil auszuführen pflegt.

Die Haupteigenschaften, welche diese Instrumente in Folge dessen besitzen müssen, sind grösstmögliche Unveränderlichkeit der Aufstellung und des Instrumentes selbst. Da bei beiden Instrumentenarten das Hauptaugenmerk auf die Bestimmung der Durchgangszeiten der Gestirne durch den Meridian zu richten ist, und bei den Meridiankreisen auch noch die Bestimmung der Deklinationen bezw. Zenithdistanzen hinzu tritt, war es als ein besonderer Fortschritt zu bezeichnen, als man an Stelle der wenig stabilen kurzen Horizontalaxen der Mauerkreise und Quadranten die zu beiden Seiten des Fernrohres unterstützten langen Axen einführte und so dasjenige Instrument schuf, dessen weitere Vervollkommnung unsere heutigen Durchgangsinstrumente darstellen.

A. Durchgangsinstrumente mit geradem Fernrohr.

a. Ältere Instrumente von Römer, Lalande und Bradley.

Es war Olaus Römer, welcher, so weit mir bekannt,[1] die erste den Namen eines Durchgangsinstrumentes verdienende Einrichtung herstellte. Des historischen Interesses wegen gebe ich nebenstehend die der „Basis astronomiae“ Horrebows[2]) entnommenen Abbildungen des Römer'schen Instrumentes. In Fig. 866 ist JK die 5 Fuss lange eiserne Axe, welche bei D durch das doppelt konische Fernrohr hindurch gesteckt ist. Bei K und J sind die Axenlager, von denen das eine in der Fensterwand, das andere nach dem Zimmer zu an der Wand angebracht ist, um das Fernrohr in den Meridian zu bringen. Das Fernrohr ragt mit dem Objektivende durch einen Einschnitt in dem einen Fensterflügel hinaus.[3]) Die Beleuchtung ist so sinn-

---

[1]) Vergl. darüber auch: Lalande, Astronomie, Bd. II, S. 615, § 2383.

[2]) Horrebow, Basis astronom. 1735, S. 49.

[3]) Offenbar eine Einrichtung, welche zwar eine Diskussion über innere und äussere Temperaturvertheilung bei der Bestimmung der Refraktion überflüssig macht, aber deshalb doch wohl nicht den Astronomen empfohlen werden kann!

reich angeordnet, dass ich auch die kleine Fig. 867 noch hier anfüge, welche dieselbe deutlich erkennen lässt. Auf der Mitte des Fernrohres bei D steht die Lampe, welche durch den Schirm U verdeckt werden kann und die ihr Licht nach einem vor dem Objektiv bei P angebrachten Spiegelring sendet, von wo es durch Reflexion in das Gesichtsfeld gelangt.

In der Mitte der Axe, welche Römer schon gegen Durchbiegung mittelst des Gewichtes Y, Fig. 866, zu sichern versuchte, sitzt ein Arm, welcher zur

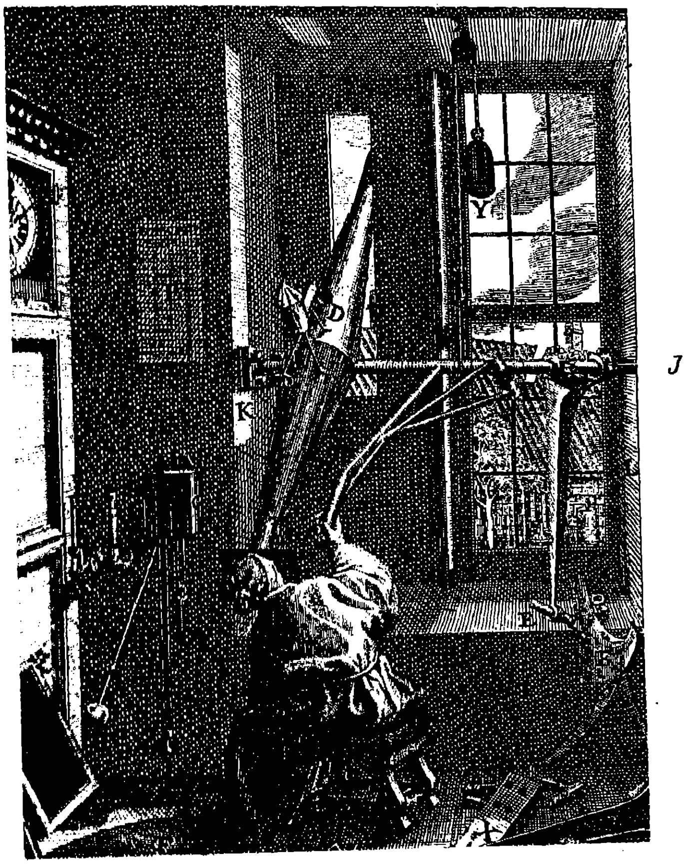


Fig. 866.

Bewegung des Fernrohres diente; und in der Nähe des Lagers J ist ein Zeiger E, welcher auf dem an der Fensterbank befestigten Kreisbogen F die Einstellung oder relative Höhenmessungen ermöglichte. In Fig. 867 ist bei R das Brennebenendiaphragma mit der Anordnung des Fadennetzes gezeichnet.

Auf S. 156 ff. der „Basis astronomiae" ist auch eine spätere Anordnung der Durchgangsinstrumente Römers genau beschrieben und durch eine Tafel erläutert. Ohne weiter auf die Einzelheiten einzugehen, gebe ich nur in Fig. 868 eine Reproduktion dieser Tafel, welche zeigt, dass schon etliche Fortschritte aufzuweisen sind, dass das Passagen-Instrument schon zu einem Meridiankreis geworden ist und dass ein zweites Passagen-Instrument im

I. Vertikal benutzt wurde. Auch die Aufstellung des Instrumentes zwischen zwei Steinpfeilern tritt hier zuerst auf.

Das Passagen-Instrument, welches einst LACAILLE zu seinen bekannten Beobachtungen benutzte, zeigt die Fig. 869a und b. LALANDE beschreibt dasselbe wie folgt:[1])

Die Axe AB ist $2^1/_2$ Fuss lang, das Fernrohr CD aber 4 Fuss bei einer Öffnung von 18 Linien. Zapfen und Fernrohr sind von Messing. Die konischen Theile der Axe sind von Kupfer, je 13 Zoll lang und in der Nähe der Zapfen 11 Linien und am Kubus 28 Linien im Durchmesser. Durch letzteren ist das Fernrohr hindurchgeschoben und zwar so, dass dasselbe in einem besonderen Rohre, welches mit dem Kubus in Verbindung steht, ruht und durch zwei Ringe gehalten wird. Die Zapfen ruhen auf den beiden Lagern

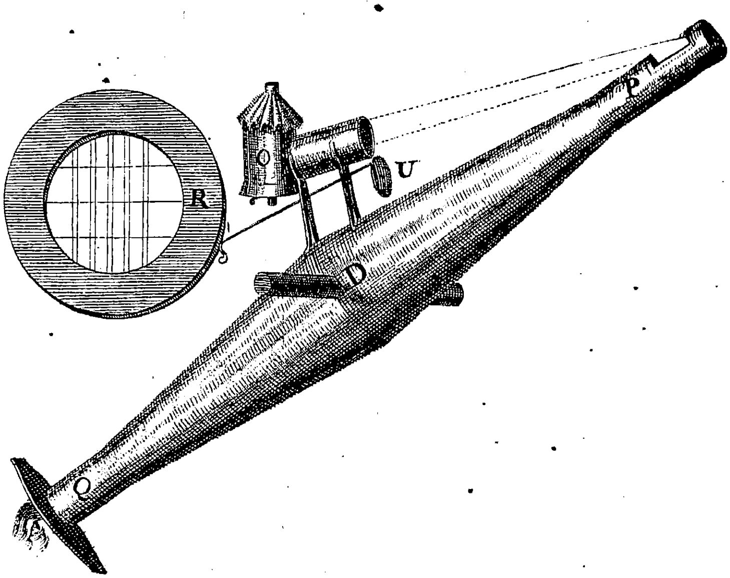


Fig. 867.

R und P, von denen P sowohl die Korrektion für Neigung als auch die für Azimuth besitzt. An dem Lager R sitzt der Halbkreis N, welcher vermittelst des Indexarmes A zur Einstellung der Gestirne dient. Die Details des Zapfenlagers P zeigt die Fig. 869b, für die eine eingehende Beschreibung nicht erforderlich erscheint. Der wesentliche Vortheil dieses Instrumentes gegenüber dem Römer'schen bildet die Symmetrie seines Baues und die für damalige Zeit sehr sachgemässe Aufstellung.[2])

Gleichzeitig etwa wurde das durch Bradley's Beobachtungen berühmt gewordene Passagen-Instrument von BIRD gebaut, welches ebenso wie dasjenige, mit welchem HALLEY zu Greenwich beobachtete, noch dort aufbewahrt

[1]) Lalande, Astronomie, Bd. II, S. 615, Taf. XXIII.

[2]) Das gleichfalls mit abgebildete Niveau besteht aus dem kupfernen Träger AB, auf dem das Rohr DC befestigt ist, in diesem sind die beiden Ausschnitte E und F, durch welche hindurch man die Enden der Blase der eigentlichen Libellenröhre sah.

wird. Das Bradley'sche Instrument beschreibt POND[1]) in den Greenwich Observations eingehend. Hier nur einige kurze Angaben über dasselbe. Das Fernrohr hatte 8 Fuss Länge und eine freie Öffnung von ursprünglich nur $1^1/_2$ Zoll; erst nachdem achromatische Objektive hergestellt werden konnten, wurde ein solches von nahezu $2^3/_4$ Zoll eingefügt (1772). Die Axenzapfen standen um $4^1/_2$ Zoll von einander ab, und wurden durch Gegengewichte unterstützt. Das Okular konnte nicht senkrecht zur optischen Axe verschoben werden, was auch für die Beobachtungsweise Bradley's, der selten mehr als den Antritt an einem oder zwei Fäden beobachtete, überflüssig war; später ist das geändert worden.

Dem Bradley'schen Passagen-Instrument folgte als Typus seiner Zeit das Passagen-Instrument von THROUGHTON, welches 1816 in Greenwich aufgestellt

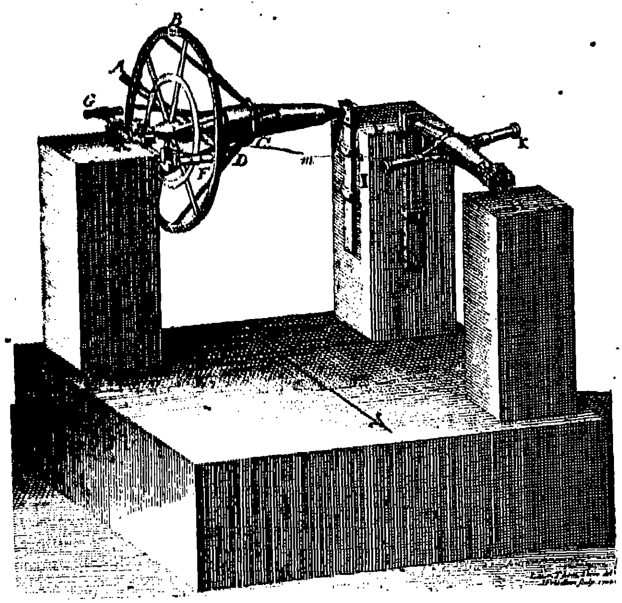


Fig. 868.

wurde. Ein ganz gleiches Instrument, welches in Cambridge aufgestellt war, beschreibt JAMES SOUTH.[2]) In den Fig. 870a u. b ist dasselbe dargestellt. Das Fernrohr mit einem Objektiv von DOLLOND, dessen freie Öffnung 5 Zoll beträgt, besteht ebenso wie die Axe aus zwei konischen Theilen, welche an ihrer Basis auf einem sphärischen Mittelstück befestigt sind. Die Durchbohrungen dieses Mittelstückes sind so bemessen, dass die möglich geringste Schwächung erfolgt, wie es Fig. 871 zeigt, welche einen Durchschnitt desselben giebt und gleichzeitig die Verbindung der Konen mit einander erläutert. Ausser dieser Verbindung am Mittelstück sind dessen Axen und Fernrohr noch durch 4 Querstücke mit einander versteift, deren Anordnung aus Fig. 870 hervorgeht. Die Fig. 871 lässt auch den im Mittelstück angebrachten durch-

[1]) Es wurde 1749 durch ein Geschenk Georgs II. von 1000 £ erworben (Pond, Greenwich Observations. Bd. I).

[2]) Philos. Transact. 1826, S. 423 ff.

bohrten Spiegel erkennen, welcher zur Erleuchtung des Gesichtsfeldes dient, indem durch den durchbohrten Zapfen von einer auf dem betreffenden Pfeiler aufgestellten Lampe Licht auf ihn fallen kann, welches er nach dem Okular reflektirt. Die Last des Instrumentes wird durch zwei Gegengewichte, welche an ungleicharmigen Hebeln wirken, zum grössten Theil aufgehoben. Ein Ring, zu welchem sich die Hebel dicht hinter den Lagern erweitern, dient zur Aufnahme der Lampe und trägt ausserdem an seiner Unterseite an zwei senkrecht zur Axe des Instrumentes diametral gegenüber gelegenen Punkten die als Schneiden dienenden Spindeln zweier Schrauben, welche selbst aus Stahl auf einer gehärteten Stahlplatte ruhen. Die Aufsuchekreise befinden sich an dem Okularstutzen des Fernrohres, um so dem Beobachter leichter zugänglich zu sein. Diese Einrichtung, welche später vielfach angewendet wurde, ist namentlich deshalb so bequem, weil man vermittelst der beweglichen Alhidade schon im Voraus die wesentliche Arbeit des Einstellens eines einem Sterne etwa schnell folgenden anderen ausführen kann. Diese Anordnung ist früher in Fig. 71 im Detail dargestellt; meistens hat man zwei solcher Kreise, je einen auf beiden Seiten des Rohres angebracht. Es ist dann an Stelle des Einstellens an einem Kreise immer nur die Blase des betreffenden Niveaus zum Einspielen zu bringen; was natürlich viel schneller geht. Wir werden auch bei den neueren Passagen-Instrumenten dieser Einrichtung häufig begegnen.

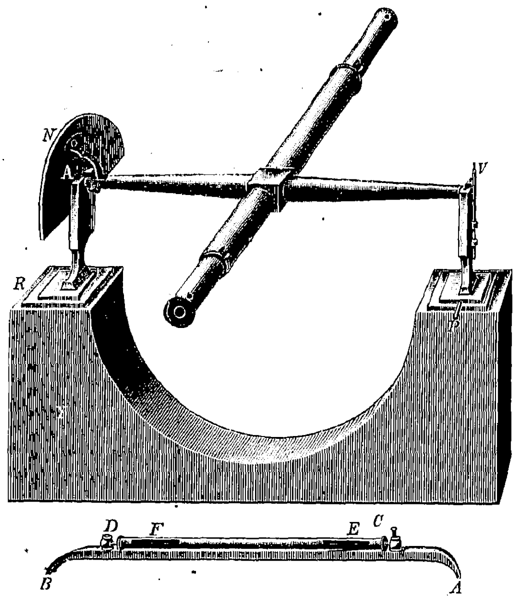


Fig. 869 a.

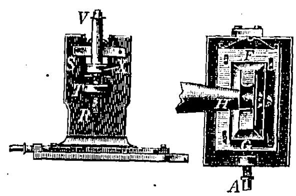


Fig. 869 b.

Fig. 872 stellt das alte Durchgangsinstrument von DOLLOND dar, welches dieser im Jahre 1824 für die Sternwarte in Cambridge (England) baute. Einige Eigenthümlichkeiten seiner Konstruktion, welche es von dem Troughton'schen unterscheiden, dem es sonst sehr gleicht, lassen es gerechtfertigt erscheinen, wenn seiner Beschreibung[1]) hier ein kleiner Raum gewährt wird.

Die Brennweite beträgt 9′ 10″ und die freie Öffnung 5″, während die Horizontalaxe 3′ 6″ misst. Das Instrument war gut equilibrirt vermittelst der unter den Ringen bei r liegenden Hebel mit Friktionsrollen und den Gegengewichten g. Von Interesse ist besonders die doppelwandige Konstruktion

[1]) Philos. Transact. 1825, S. 418 ff., Taf. XXVII und XXVIII.

der Axenkonen und die Versteifung dieser mit dem Fernrohr, sowie die Verbindung der Axe und des Fernrohrs mit dem sphärischen Mittelstück. Auch hier trägt der Okularstutzen an jeder Seite einen Aufsuchekreis k. In Fig. 872 ist auch die Einrichtung zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes und deren Regulirung sichtbar. Es ist p eine Stange mit zwei Stirnrädern an ihren Enden; am Okularende greift ein zweites Rad ein, dessen Axe aus dem Fernrohr

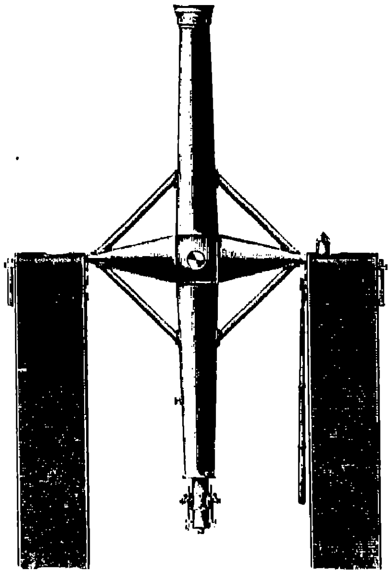


Fig. 870 a.

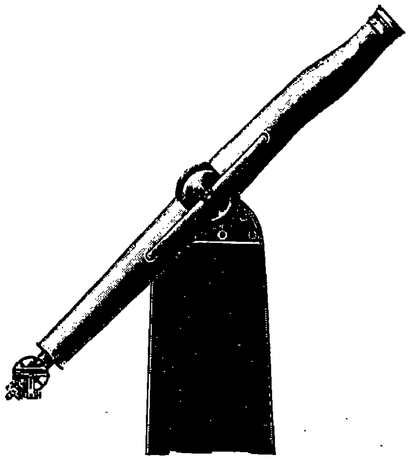


Fig. 870 b.

heraustritt und dort einen Knopf zum Drehen mit der Hand trägt; im Mitteltheile ist ein Rad angebracht, dessen Axe durch Konus und Zapfen hindurch geht und von da aus die zwei Scheiben in Bewegung zu setzen vermag, durch welche ein quadratischer Ausschnitt geöffnet und verschlossen werden kann.

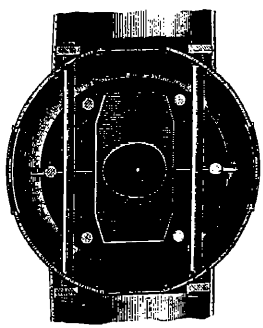


Fig. 871.
(Nach Philos. Transact. 1826.)

Wie aus dem Obigen schon zum Theil hervorgeht, sind die Hauptbestandtheile eines Durchgangsinstrumentes:

1. Die Axe mit den Zapfen und dem sogenannten Kubus, an dessen Stelle bei älteren Instrumenten auch manchmal eine Kugel tritt.

2. Das Fernrohr; in ganz früher Zeit noch als selbstständiges Ganzes, später aber in Form von zwei cylindrischen oder besser konischen Röhren ebenfalls am Mittelstück befestigt und an den Enden das Objektiv und das Okular tragend.

3. Die zum Aufsuchen der Sterne erforderlichen Kreise und

4. Die Lager, in denen die Axe ruht, und deren Unterlagen (Pfeiler oder eiserne Stative).

Nachdem in den früheren Kapiteln schon die Beschaffenheit dieser einzelnen Theile erläutert worden ist, braucht hier nur noch ihre Verbindung

zu einem vollständigen Instrumente erörtert zu werden. Wie man nach und nach auf die heutige Form der Durchgangsinstrumente gekommen ist, ist auch Eingangs dieses Kapitels an einigen historischen Beispielen gezeigt worden. Ich wende mich daher jetzt zur Beschreibung typischer Instrumente der Neuzeit, respektive solcher der letzten 60 – 70 Jahre, welche sich noch im Gebrauche befinden; dabei wird sich Gelegenheit bieten, auf vielerlei Einzelheiten einzugehen.

b. Instrumente von Reichenbach und Ertel.

Den oben beschriebenen englischen Instrumenten würden zeitlich von wichtigeren Konstruktionen diejenigen der Reichenbach'schen und Ertel'schen Werkstätte anzureihen sein. Das in Pulkowa aufgestellte grosse Passagen-Instrument von Ertel kann wohl als bester Vertreter dieser Klasse angesehen werden. Es ist von W. Struve ausführlich beschrieben worden.[1]) Fig. 873 zeigt dieses Instrument bei horizontaler Lage von Norden gesehen zwischen seinen Pfeilern ruhend. Eine besondere Ansicht des Ostpfeilers mit den Axenlagern, Friktionsrollen und einer Einrichtung zur Prüfung der Zapfen giebt Fig. 874. Die Pfeiler sind aus Ziegelsteinen aufgemauert und erheben sich etwas über 2 m über dem Fussboden. Auf ihrer Oberfläche tragen sie die beiden Lager, von denen das eine in Höhe, das andere im Sinne des Azimuths korrigirbar ist. Die doppelkonische Axe des Instrumentes ist mit dem Kubus aus einem Stücke gegossen; die beiden stählernen Zapfen sind auf beiden Seiten eingesetzt. Die Axe ist 46,5 paris. Zoll (1,259 m) lang und ruht an zwei um 43,3 Zoll (1,172 m) von einander entfernten Stellen der Zapfen in den Lagern a. Die Länge der Zapfen beträgt je 2,17 Zoll (50 mm). Auf jeder Seite trägt die Axe einen Einstellkreis k von 18,8 Zoll (0,51 m) Durchmesser, welche durch je einen am Arm s befestigten kleinen fliegenden Vernier e abgelesen werden können, um das Instrument in Deklination einzustellen. Der Kubus hat eine Seitenlänge von 12,5 Zoll (0,331 m), an zwei seiner Seitenflächen sind die konischen Rohrtheile des Fernrohres mittelst 8 starker Schrauben an ihrer in eine quadratische Platte auslaufende Grundfläche festgeschraubt. Das Instrument ist mit besonderer Sorgfalt symmetrisch gebaut. Die Brennweite des Objektivs beträgt 2,76 m bei einer Öffnung von 158 mm. Der eine Zapfen b, Fig. 874, ist durchbohrt, um dem Lichte den Durchgang zu

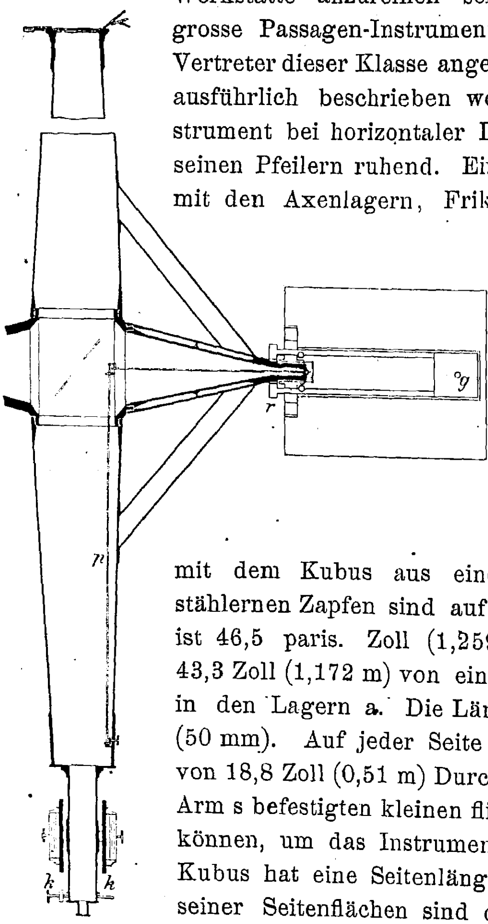


Fig. 872.

[1]) W. Struve, Descript. de l'observ. de Poulkova, St. Petersbourg 1845.

Erleuchtung. des Gesichtsfeldes zu gestatten; dasselbe wird durch einen im Kubus befindlichen, unter 45° geneigten durchbrochenen Spiegel nach dem Okularende reflektirt. Die Zapfenlager bestehen aus je zwei um 90° gegen einander geneigte Planflächen. Über denselben liegt auf dem Zapfen eine kleine an einem Hebel befestigte Platte, welche durch das Gewichtchen c gegen den Zapfen. gedrückt wird, um diesen mit konstantem Druck in dem Lager zu halten, da das Gewicht des Instrumentes durch die beiden an den Hebeln r r wirkenden Gegengewichte h h fast ganz aufgehoben wird. Die Hebel r sind eiserne Rahmen, welche ihre Drehungspunkte in zwei Lagern bei i haben, die in den Pfeilern eincementirt sind. Die kürzeren Arme tragen die Friktionsrollen, deren auf jeder Seite zwei das Instrument stützen. Über c befindet sich noch ein ähnlicher Hebel, welcher auf seiner oberen

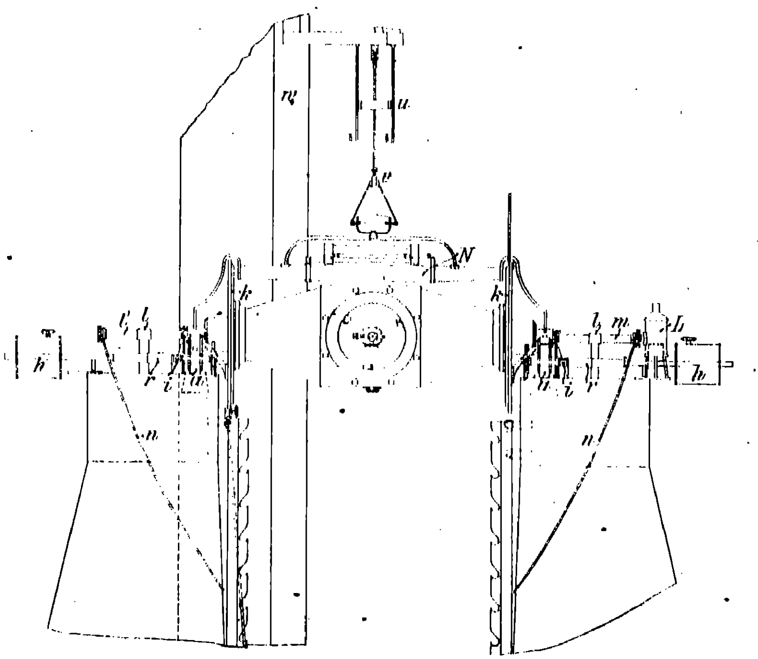


Fig. 878.
(Nach Struve, Descript. de l'observ. de Poulkova.)

Seite ein Niveau d und an der Unterseite einen Stift trägt, der letztere geht durch c hindurch und berührt im obersten Punkte den Zapfen. Dieses Niveau dient dazu, sowohl die sichere Lagerung der Zapfen zu kontroliren, als auch die Form der Zapfen selbst der Prüfung zu unterziehen. (Vergl. Kapitel Axen S. 287 ff.)

Damit das Instrument stets mit demselben Querschnitt der Zapfen in den Lagern ruht, ist in einem fest mit den Pfeilern verbundenen Aufsatze eine Schraube angebracht, gegen welche der Zapfen mit seiner Grundfläche innen anliegen muss. l und l sind Ständer und l′ und m Rohre für die Beleuchtung durch die Lampe L. Die Rohre l′ und m sind dazwischen geschoben, um möglichst wenig Licht in den Beobachtungsraum gelangen zu lassen; zugleich tragen dieselben an ihren den Lampen zugewandten Enden eine Ein-

richtung zur Moderirung der Lichtstärke, welches durch die Schnur n' vom Sitz des Beobachters aus bewirkt werden kann. Im Fokus des Objektivs sind 7 Vertikalfäden ausgespannt, und es ist das Okular auf einem besonderen Schieber befestigt, wodurch es möglich wird, dasselbe so zu stellen, dass sich immer derjenige Faden, an dem gerade der Antritt beobachtet werden soll, in der Mitte des Gesichtsfeldes befindet; eine Einrichtung, welche für die Beobachtungen an einer grösseren Anzahl Fäden unumgänglich nöthig ist.

Zum Zwecke der Prüfung der Horizontalität der Axe ist ein Aufsatzniveau N vorhanden, welches auf mechanischem Wege auf die Axe aufgesetzt, von ihr abgenommen und zur Seite bewegt werden kann. Dazu dienen die Einrichtungen u, v und der senkrechte Pfosten w, welcher sich um zwei Zapfen, einen am Fussboden und einen am Dache, drehen lässt.

Das Niveau selbst trägt ausser der später von Repsold angefertigten Niveauröhre noch ein Querniveau, welches die richtige Lage des Hauptniveaus verbürgt. Auch kann an dem Kreis eine Gabel angeschraubt werden, welche ein Umschlagen des Niveaus verhütet.

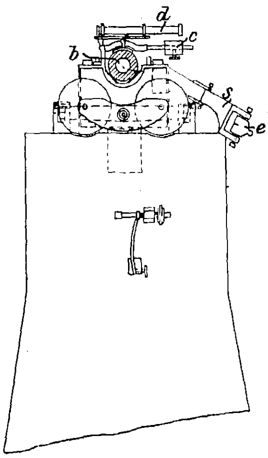


Fig. 874.

Zum Umlegen in seinen Lagern ist dem schweren Instrumente ein besonderer Bock beigegeben, dessen Einrichtung dem schon früher dargestellten sehr ähnlich ist und dessen Princip man bis auf den heutigen Tag im Wesentlichen beibehalten hat.

Das auf den Rädern r r und den Schienen e e ruhende Gestell, Fig. 336, trägt eine horizontale Platte. Unterhalb derselben ist eine horizontale Axe mit Kurbel c gelagert auf welcher ein Stirnrad befestigt ist. Dieses greift in ein zweites solches RR ein, welches sich um eine zur Platte senkrechte Axe bewegen kann, im Übrigen aber in der Platte eine Führung hat, die es verhindert, sich längs seiner Axe zu bewegen. Dieses Rad ist centrisch von einem tiefen Schraubengewinde durchsetzt, in welchem die Schraubenspindel S sich auf- und abbewegen kann. Der untere cylindrische Theil erhält seine Führung in dem Verbindungsstück bei M M und zwar in einer Weise, welche eine Drehung um seine Längsaxe verhindert. Oberhalb B ist noch eine Führung der Schraubenspindel angebracht, welche zugleich einen Winkelarm trägt, der als Anschlag für den Obertheil des Apparates dient. Dieser besteht aus einer starken Büchse, welche auf einem glasharten Bolzen ruht. Quer dazu ist oberhalb des Bolzens ein Doppelarm G angesetzt, dessen aufwärts gerichtete Endstücke gepolsterte Lager a für die Axentheile des Passagen-Instrumentes tragen. Wird jetzt, nachdem der Umlegebock unter das Instrument geschoben worden ist, die Kurbel gedreht, so wird die Schraubenspindel in ihrem Muttergewinde auf- und abbewegt werden und so der Arm G das Instrument zu heben und zu senken vermögen und zwar langsam und sicher, da die Steigung der Schraube eine nicht zu grosse sein soll.

Das eben beschriebene Ertel'sche Durchgangsinstrument bildet den Typus

aller dieser Instrumente mit geradem Fernrohr; deshalb haben wir bei demselben etwas länger verweilt, als es sonst gerechtfertigt erscheinen könnte. Ein Instrument von nahe gleicher Bauart aus derselben Werkstätte befindet sich ebenfalls heute noch in Washington im Gebrauch.[1])

Axe und Fernrohr sind dem Pulkowaer Instrument ganz ähnlich; statt der Kreise auf den Axen hat man aber die bequeme Einrichtung der oben schon beschriebenen Aufsuchekreise, Fig. 875, am Okularende angebracht. Die Brennweite des Objektivs beträgt 2,18 m[2]) bei einer freien Öffnung von 1,35 mm. Auf dem etwas kürzeren Zapfen ruhte früher ebenfalls im obersten Punkte eine Libelle, um die Gestalt derselben zu prüfen. Die Gegengewichte sind mit ihren Hebeln und Haken schon in derjenigen Weise geordnet, wie es heute noch zumeist geschieht, nämlich auf einem hohen Ständer, welcher oben in einen Querarm endigt, dessen dem Instrument zugewendetes Ende den Drehungspunkt der Hebel trägt, während das andere zur Unterstützung

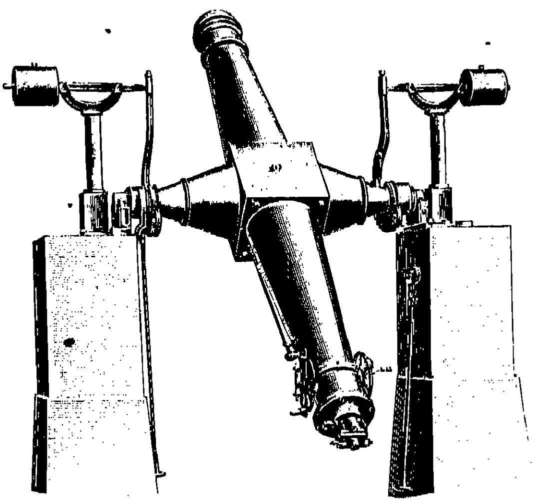


Fig. 875.

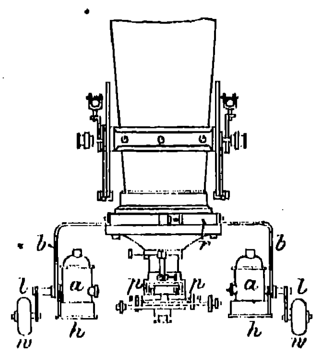


Fig. 876.

des Gegengewichtes dient, wenn das Instrument aus den Lagern gehoben ist. Die ursprünglich durch die Zapfen erfolgende Beleuchtung hat Maury durch eine andere am Okularende ersetzt, welche aber später wieder entfernt worden ist. Dieselbe bestand, wie Fig. 876 zeigt, darin, dass um das Okularende ein schmaler Ring gelegt war, welcher auf der Ost- und Westseite zwei Arme b, b trug, durch diese gingen die Axen l, l senkrecht zur Gesichtslinie, auf der einen Seite endigten sie in der Büchse h zur Aufnahme der Lampe a, und auf der anderen trugen sie ein Gewicht w, welches dazu diente die Lampe immer in derselben Lage zu erhalten (man vergl. das Fraunhofer'sche Fadenmikrometer und ebenso das neuere Repsold'sche).

Die Lampen sandten ihr Licht durch zwei mit Glas verschlossene Öff-

---

1) Astron. Observations of the U. S. N. Observatory, Washington 1845 und 1874.

2) Vor der neuen Bearbeitung des Objektivs durch A. Clark wird für die Brennweite 7 Fuss und 1 Zoll angegeben.

nungen bei p in das Instrument, dort wurde es durch zwei Spiegel so reflektirt, dass es die Fäden von vorne traf und dieselben hell im dunklen Feld erscheinen liess.

c. Das Repsold'sche Durchgangsinstrument in Pulkowa. (Im I. Vertikal.)

Ein Instrument gänzlich anderer Konstruktion ist das zunächst für Pulkowa ausgeführte Durchgangsinstrument von Repsold, welches dort zu Beobachtungen im I. Vertikal bestimmt ist.[1]) W. Struve giebt die folgende Beschreibung des Instrumentes, welches der Astronomie auf dem damals erst durch Bessel neu beschrittenen Weg der Beobachtung von Durchgängen im ersten Vertikal so wichtige Dienste in den Händen Struve's geleistet hat.[2]) Da für den Fall, dass die zu beobachtenden Gestirne sehr nahe dem Zenith durch den I. Vertikal gehen, ein schnelles Umlegen von der Theorie der Beobachtungen als besonders zweckmässig gefordert wird, war es wünschenswerth, der Umlegevorrichtung eine dementsprechende Anordnung zu geben; dieselbe ist deshalb mit dem Instrument resp. dessen Pfeilern direkt verbunden.

Weiterhin war für die Konstruktion des Instruments die Forderung massgebend, dass während des Überganges vom Ost- zum West-Vertikal das Niveau auf der Axe verbleiben konnte und dass die Gegenwart des Beobachters dasselbe nicht beeinflussen dürfe. Aus diesem Grunde wurde das Fernrohr an das eine Ende der Axe gelegt. Das Umlegen kann thatsächlich nach Struve's Angabe in nahezu 10—20 Sekunden erfolgen bei vollkommener Sicherheit der Ausführung. Die Zwischenzeit zwischen der letzten Beobachtung in der einen Lage bis zur ersten in der zweiten, beträgt nicht ganz $1^1/_2$ Minute. Nur die kleinen Passagen-Instrumente der Neuzeit mit gebrochenem Fernrohr übertreffen in dieser Hinsicht diese älteren Instrumente. Das Fernrohr hat 2,46 m Fokallänge bei einer freien Öffnung von nahe 170 mm. Das Instrument ruht auf einem eigenthümlich geformten Pfeiler A, Fig. 877, von über 2 m Höhe; in einem Ausschnitte des Pfeilers ist die Umlegevorrichtung gelagert. Auf den so gebildeten beiden Pfeilertheilen ruhen die messingnen Lager a mit rechtwinkligen Ausschnitten, welche die Axen an zwei um 1,11 m von einander entfernten Stellen tragen. Von den Lagern ist das eine in üblicher Weise azimuthal, das andere vertikal korrigirbar. Die Axe B des Instrumentes ist aus Glockenmetall. Die beiden stählernen Zapfen sind an den Enden eingefügt; dieselben haben noch einen Durchmesser von 116 mm und tragen an der äusseren Seite einen Flansch von 227 mm Durchmesser und 35 mm Dicke. Die Zapfen sind beide durchbohrt, aber nicht wegen der Beleuchtung, sondern um dem Hebelwerk eines Gegengewichtes den Durchgang zu gestatten. Diese Hebel sind im lichten Raum der Zapfen in einer Cardan'schen Aufhängung so befestigt, dass sie in jeder Lage des Instru-

---

[1]) Struve, Descript. de l'observ. de Poulkova, Taf. XXXII. Ein ganz gleiches Instrument ist später auch für Washington von Pistor und Martins gebaut worden (Washington Observations 1845).

[2]) Astron. Nachr., Bd. 20, S. 193.

mentes frei beweglich sind. Auf dem kürzeren Ende c des einen Hebels ruht das Fernrohr auf, welches im Übrigen mit der Flansche des betreffenden Zapfens fest verschraubt ist, auf dem kürzeren Ende des anderen Hebels ruht ein dem Fernrohr entsprechendes Gegengewicht. Auf den längeren Enden, welche in das Innere des Axenkörpers hineinragen, sitzen die kleineren Gegengewichte bb, welche sowohl Fernrohr als Hauptgegengewicht D balan-

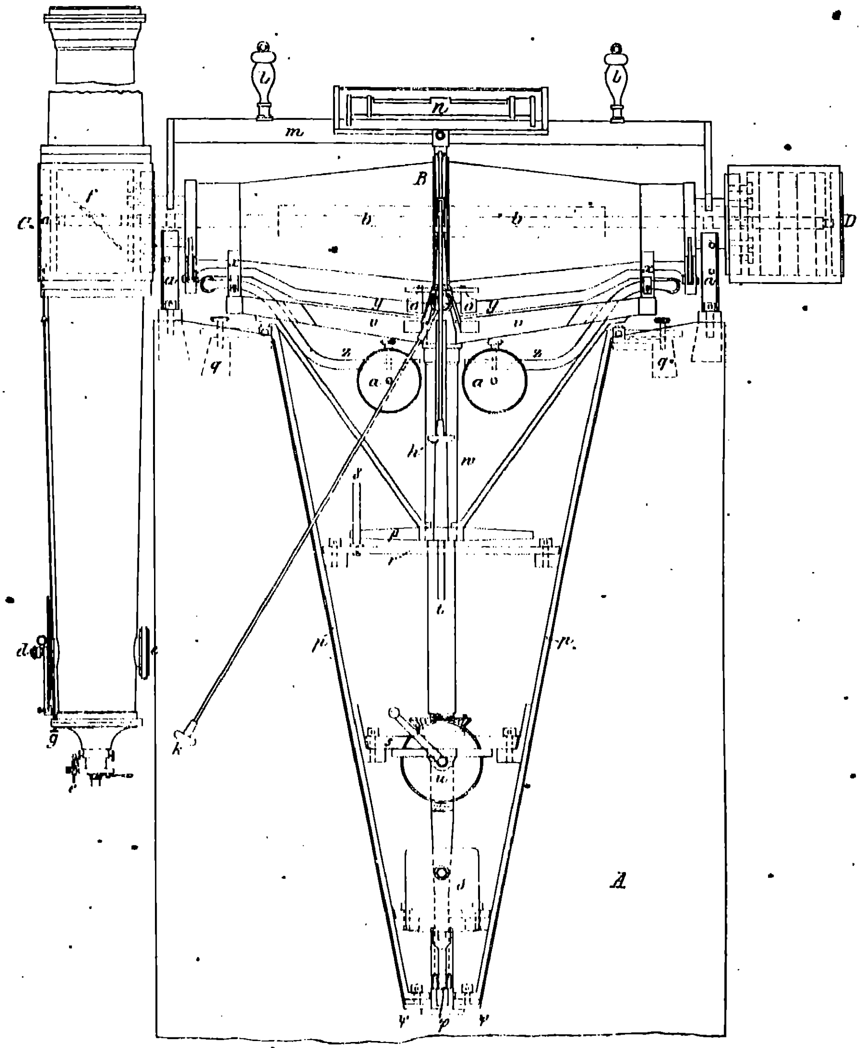


Fig. 877.
(Nach Struve, Descript. de l'observ. de Poulkova.)

ciren. Durch diese sinnreiche Einrichtung ist jede Durchbiegung der Axe unmöglich gemacht, da fast das gesammte Gewicht aller Instrumententheile direkt auf die in den Lagern aufruhenden Zapfentheile übertragen ist. Im Fernrohr ist der betreffende Hebelarm zu einem Ringe geformt, so dass durch diesen der Lichtkegel ohne Abblendung passiren kann. Die beiden Fernrohrtheile sind etwas konisch geformt. An dem das Okular tragenden ist der kleine

von 10 zu 10 Minuten getheilte Aufsuchekreis d angebracht und diesem entgegengesetzt ein entsprechendes Gegengewicht e, damit eine Torsion des Rohres vermieden wird. In der Brennebene des Objektivs befinden sich 2 horizontale Fäden mit etwa einer Bogenminute Abstand, 15 feste und ein mittelst Mikrometerschraube beweglicher Vertikalfaden. Eine Windung der Schraube entspricht 28,6″ und die Vertikalfäden sind um etwas weniger als 2 Bogenminuten von einander entfernt. Zur Bequemlichkeit der Beobachtung pflegt

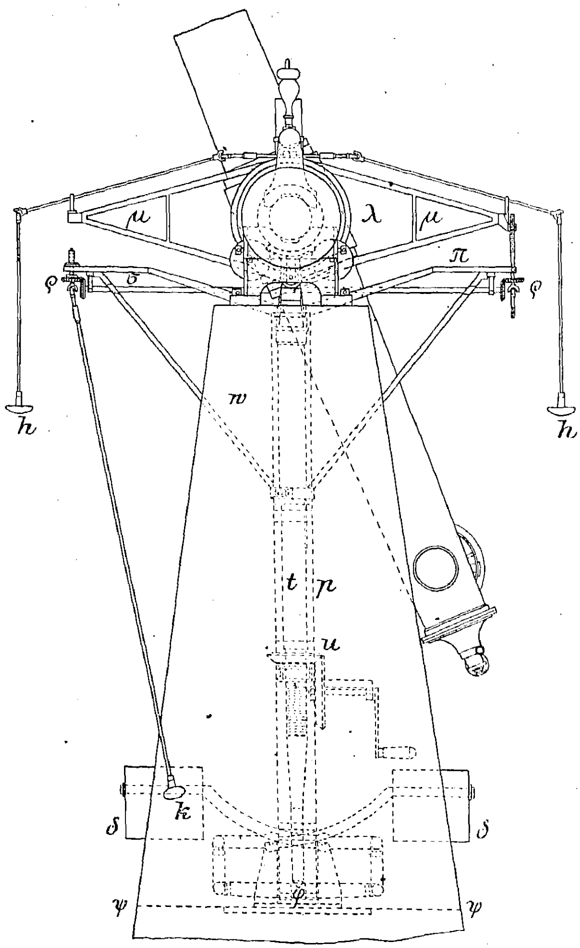


Fig. 878.

(Nach Struve, Descript. de l'observ. de Poulkova.)

dem gebräuchlichen Okular von 270facher Vergrösserung ein rechtwinkliges Prisma vorgesetzt zu werden, welches um die optische Axe drehbar ist. Zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes befindet sich im Kubus des Instrumentes ein Spiegel f, welcher vermöge seiner Neigung von 45° gegen die optische Axe das Licht, welches von einer gegenüberstehenden Lampe durch die durchbrochene und mit einer Glasplatte verschlossene Vorderfläche C des Kubus

in das Instrument gelangt, nach dem Okular reflektirt. Die Moderirung der Beleuchtung geschieht durch einen vom Okular aus mittelst des Griffes g regulirbaren Verschluss der Durchbohrung.

Die Klemmung der Axe wird mittelst eines um deren Mitte gelegten oben durchschnittenen Ringes λ bewirkt, welchen die Schraubenschlüssel h zu öffnen und zusammenzupressen ermöglichen, wodurch eine völlig centrale Klemmung (siehe Klemm- und Feinbewegungen S. 489) erreicht wird. Auf beiden Seiten dieses Ringes sind die beiden Dreiecke μ, μ angebracht, welche vermittelst der aus der Fig. 878 leicht ersichtlichen Vorrichtung σ und einer Übertragung durch Stirnräder ϱ die Feinbewegung auszuführen gestatten. Als Stützpunkte für dieselbe dienen die mit der Umlege- und Äquilibrirungseinrichtung fest verbundenen Arme π.

Auf der Horizontalaxe ruht das Niveau m, n, welches sowohl mittelst der Griffe l direkt als auch durch ein besonderes Hebezeug auf den Zapfen umgesetzt werden kann. Die eigentliche Niveauröhre n ruht auf dem starken Rohre m und ist von einer weiten Glashülse zum Schutze gegen strahlende Wärme umgeben.

Von besonderem Interesse ist der Umlegeapparat. Er wird getragen von einem eisernen Rahmen p, p, welcher auf der Oberfläche der Pfeiler ruht und dort um die vorderen Theile der eigentlichen Bolzen q, q mittelst zweier Schrauben sogar etwas justirt werden kann. Den Grund des Pfeilerausschnittes erreicht der Rahmen nicht ganz, um bei seiner Ausdehnung durch die Temperatur freien Spielraum zu haben. Zwei starke Querstücke r und s verstärken den Rahmen, dabei trägt s die bei früherer Gelegenheit in ihrer Wirkung schon erläuterten Räder bei u, während r die Bohrung für die Schraubenspindel und deren Führungsleiste t enthält. Die Schraubenspindel läuft oben, wie bei dem Ertel'schen Instrument ebenfalls in einen Konus aus, welcher das drehbare Obertheil des Apparates vermittelst der Büchse w trägt. Auf dieser liegt auch wieder der Querarm v mit den Lagern x, x. Ausserdem ruhen aber noch die beiden Arme y, y auf der Büchse auf und sind in der Nähe der Vertikalaxe drehbar befestigt, zwei kleine Ansatzstücke o verhindern eine Drehung nach unten. Die anderen Enden dieser Arme durchsetzen in geeigneten Öffnungen die Lager x, x und tragen dort die Rahmen für je zwei stählerne Friktionsrollen. In den Lagern des Umlegebockes befinden sich aber auch noch die Drehpunkte der beiden Hebelsysteme z, an deren kürzeren Enden eine kleine Rolle unter die Hebelarme y greift, während die an den anderen Enden angebrachten Gegengewichte α dahin wirken, das ganze Instrument in die Höhe zu drücken, so dass dasselbe nur mit einem geringen Gewichte in den Lagern a ruht. Der Arm β und die Stange γ begrenzen, wie aus früherem schon bekannt, die Bewegung beim Umlegen des Instrumentes. Um bei dieser Manipulation nicht mittelst der Kurbel und der Zahnräder das bedeutende Gewicht des ganzen Instruments überwinden zu müssen, befindet sich unterhalb der Schraubenspindel am Grunde des Rahmens p ein nach der Fig. 878 leicht verständliches Hebelsystem mit den beiden schweren Gegengewichten δ, δ, welches bei φ die Schraubenspindel unterstützt.

d. Das Durchgangsinstrument der von Kuffner'schen Sternwarte. (I. Vertikal.)

Von besonderem Interesse dürfte es sein, wenn hier gleich das vor wenigen Jahren in der Repsold'schen Werkstätte nach den Vorschlägen von N. Herz in Wien für die v. Kuffner'sche Sternwarte gebaute Instrument für Beobachtungen im I. Vertikal als Seitenstück zu dem oben beschriebenen angeführt wird, obgleich dasselbe nicht nur zu Durchgangsbeobachtungen, sondern auch gleichzeitig zu Zenithdistanz-Messungen eingerichtet wurde. Die Figur sowohl, wie die folgende Beschreibung dieses Instruments entnehme ich dem 4. Bande der Publ. der v. Kuffner'schen Sternwarte.

Die Axe, deren Länge wegen des einmal vorhandenen Spaltes verhältnissmässig klein gewählt werden musste, ist von Lager zu Lager nur 0,53 m lang. Das Instrument, Fig. 879, wird von einem unter dem Fussboden liegenden Dreifuss getragen, der mittelst dreier untergelegter Grundplatten auf einem Mauerfundament ruht, und einer auf dem Dreifuss aufgeschraubten Säule S. Ein Arm des Dreifusses ist mit einer festen Halbkugel eingelagert, der zweite mit einer Halbkugel am Ende einer Stellschraube, und der dritte steht mit dem wenig abgerundeten Ende einer Schraube auf der planen Oberfläche einer Platte, sodass durch diese Anordnung Spannungen durch Temperatur-Änderungen u. s. w. vermieden werden.

„Die Säule hält an ihrem unteren Ende, zwischen zwei vorliegenden Ringen drehbar, einen leichten Arm mit einer Quecksilberschale 1 und deren Gegengewicht; am oberen Ende läuft sie in eine Platte 2 aus, welche ein durchbrochenes Kopfstück 3 mit seitlich (nach Nord und Süd) vorspringenden Platten 4 für die Lager der Fernrohraxe und ähnlichen Vorsprüngen in Ost und West als Stützpunkte für die Klemme trägt und eine Azimuthkorrektion zulässt. In der Mitte des Kopfstückes ist eine senkrechte Büchse befestigt, die Führungs- und Drehungsbüchse für den nahe unter der Axe liegenden Umlegebock. Die in dieser Führungsbüchse bewegliche Axe des Umlegebocks ruht mit einem Ansatze auf einem Halsring und wird mittelst desselben und eines am Kopfstück befestigten Winkelhebels durch eine mehrgängige Schraube mit grosser Holzscheibe 5 als Griff gehoben; die Last wird dabei grösstenteils durch zwei an den Halsring angreifende, über Rollen gelegte Schnüre aufgenommen, die ein Gegengewicht im Innern der Säule tragen.

Die Fernrohraxe 6 ist von Stahl und annähernd cylindrisch, doch hat sie an jedem Ende einen breiten Kopf zur Aufnahme des Fernrohres, sowie des von 4'—4' getheilten Höhenkreises 7 und eines Gegengewichtes 8. In der Mitte umfasst sie ein starker Ring, der als Drehungsmittel der Klemme dient. Der kleinen Dimensionen und der grösseren Einfachheit wegen erschien es rathsam, den bei grösseren ähnlichen Instrumenten zur Vermeidung der Axenbiegung angewandten inneren Hebel fortzulassen (vergl. Pulkowaer und Washingtoner Instrumente); es wurden deshalb unter den Köpfen der Axe zwei Rollenpaare 9 an einer langen, sich auf den Umlegebock stützenden Feder 10 zur Aufhebung des Gesammtgewichtes angebracht und der trotz des Eigengewichtes der Axe und der Klemme übrig bleibenden Biegung durch zwei zu beiden Seiten der Klemme von oben drückende Rollenpaare 11

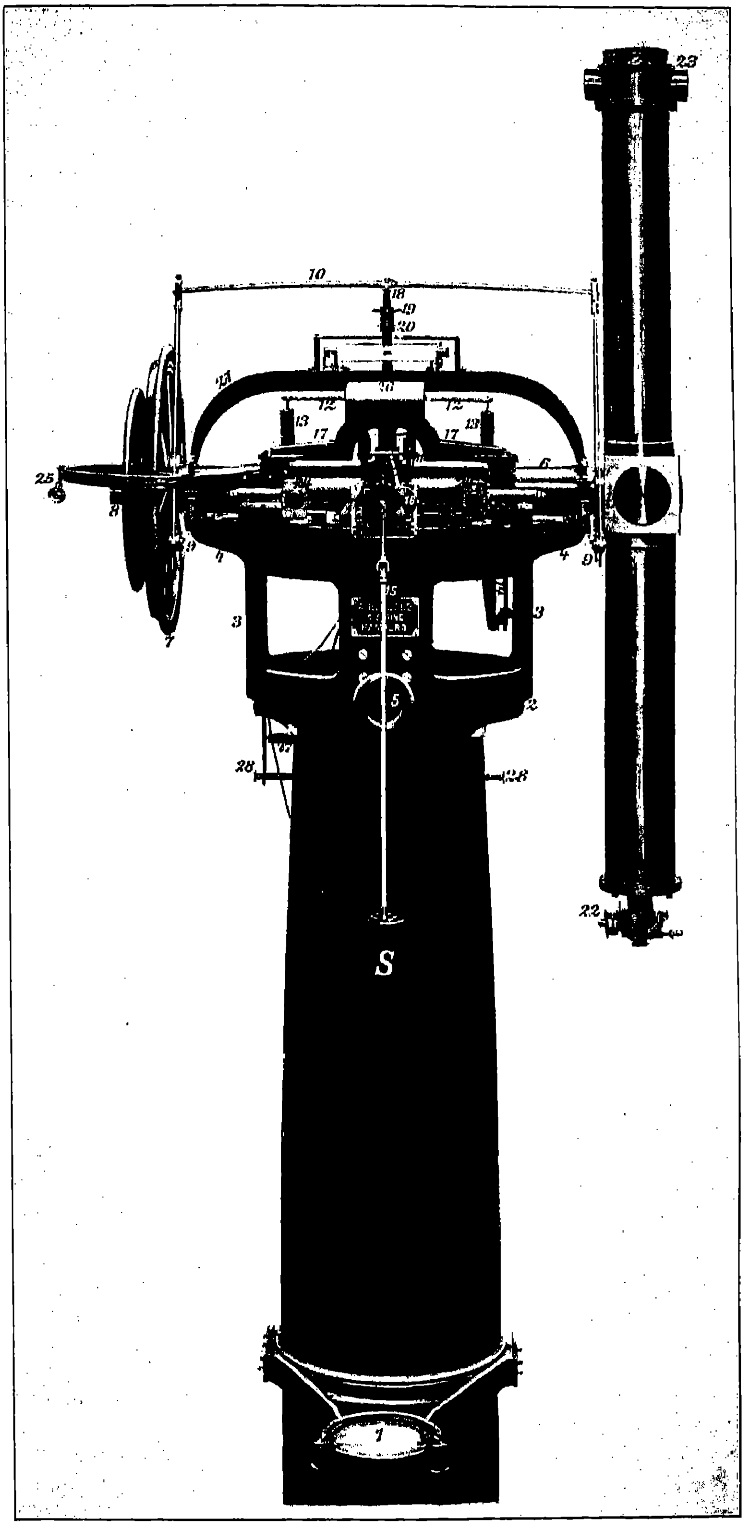


Fig. 870.

entgegenwirkt. Dieser Druck wird erzeugt durch zwei von einem Hebel 12 gespannte, starke Spiralfedern 13, die sich, wie die lange Feder, gegen den Umlegebock stützen. Der Druck dieser beiden entgegengesetzt wirkenden Federn wurde berichtigt nach Nivellirungen der beiden Endflächen der Fernrohrtheile, nachdem auch die Horizontalaxe genau nivellirt worden war. Um der Axe eine zweckmässige, möglichst reibungsfreie Führung zu geben, dient ein Rollenpaar, welches, von der Klemme umschlossen, von unten gegen eine Hohlkehle in den Mittelring der Axe drückt und durch einen Winkelhebel mit Spiralfeder 14 gehalten wird.

Die symmetrisch geformte Klemme setzt sich in zwei nach Ost und West zeigende Arme fort. Beide reichen bis über die Vorsprünge des Kopfstückes hinaus, aber nur der eine ist durch eine Stellschraube, deren Mutter in einem Doppelgelenk an der Klemme hängt, mit dem Umlegebock und durch diesen mit dem Kopfstück der Säule verbunden. Diese Verbindung ist durch ein Kugellager der Schraube an einer langen Doppelschiene erreicht, welche federnd an dem Umlegebock befestigt ist und sich beim Niederlassen desselben an beiden Enden auf das Kopfstück legt; je nach Lage des Fernrohres befindet sich diese Schraube im Osten oder Westen. Von der Schraube gehen Verbindungsschlüssel mit Zahnradübertragungen an das Ende des anderen Armes zu einer senkrechten Welle mit dem hängenden Gelenkschlüssel 15, wie ein solcher auch an der Schraube selbst sitzt, so dass diese von beiden Seiten gedreht werden kann. Desgleichen ist auch die tangentiale Klemmschraube durch Schlüssel 16 von beiden Enden her erreichbar gemacht.

Klemme, Schlüsselverbindung und die mittleren Druckrollen werden von einer Brücke 17 des Umlegebockes frei überspannt; über dieser steht das Niveau 21. Ein von der Brücke ausgehender senkrechter Cylinder 18, der oben den Druck der grossen Rollenfeder 10 aufnimmt, dient zugleich dem Niveau 21 zur Führung beim Umlegen. Er wird mit einigem Spielraum umfasst von einem am Niveau befestigten Rohr mit lose drehbaren Kopf 19, an dem man das Niveau aufhebt, um es dann an einem zweiten, mit dem Rohre fest verbundenen Kopf 20 um 180° zu drehen und wieder auf die Axe hinabzulassen. Zu jeder Seite des Rohres liegt eine Niveauröhre, ein Glasgehäuse überdeckt beide. Die Niveaufüsse berühren die Zapfen der Axe in denselben senkrechten Querschnitten, wie die Lager, und sind mit breiten Staubdeckeln versehen.

Das Fernrohr ist ein cylindrisches Messingrohr mit einem durchbrochenen Kubus in der Mitte; die Endringe sind in gleichem Abstande von der Mitte und haben gleiche Durchmesser, so dass Objektiv- und Okularkopf vertauscht werden können. Das Objektiv ist von STEINHEIL und hat 81 mm Öffnung bei 1,20 m Brennweite. Das Okular ist mit einem Doppelmikrometer 22 versehen, im Sinne des Azimuths und der Höhe, und jede der Schrauben führt eine Zählscheibe für die ganzen Umgänge gleichzeitig mit. Entsprechend dem Doppelmikrometer hat auch das Okular kreuzweise Schiebung. Der unvermeidlichen Höhe des Mikrometerkopfes wegen musste das Objektiv mit einem Zwischenstück 23 angeschlossen werden, um Objektivmitte und Faden-

ebene in gleichen Abstand von den Ansatzflächen der Fernrohrtheile zu bringen, zwecks eventueller Vertauschung. Dieses Zwischenstück besteht aus einem Rohre, das am oberen Ende mit einem Eisen-, am unteren mit einem Messingringe innig verbunden ist, und vermittelt so den Übergang von der Eisenfassung des Objektivs zum Messingfernrohr.

Vier zur Ablesung des Kreises bestimmte, gebrochene Mikroskope 24 sind auf der Oberfläche des Kopfstückes der Säule befestigt, je zwei nach Nord und Süd sehend; sie geben 1 Rev. $= 2' = 60$ partes.

Die Beleuchtung des Instrumentes geschieht durch drei Glühlampen. Die elektrische Leitung dazu geht von der Säule nach dem Umlegebock in der Weise, dass dieser beim Niedergehen selbstthätig Federkontakte schliesst. Durch einen Umschalter an der Säule kann der Strom so geleitet werden, dass entweder eine Lampe 25 zur Feldbeleuchtung mittelst eines im Kubus

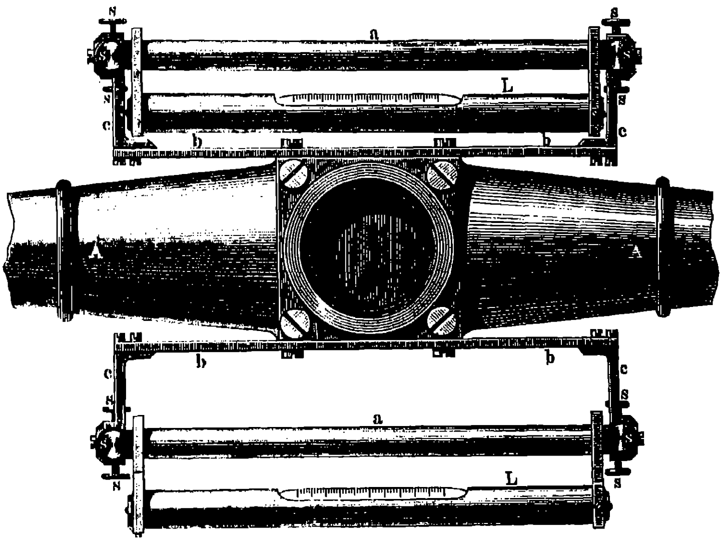


Fig. 880.
(Aus Konkoly, Anleitung.)

angebrachten Spiegels vor der Bohrung der Fernrohraxe brennt, oder zwei oberhalb der Klemme angebrachte, von Blendschirmen 26 überdeckte Lampen. Diese bescheinen von unten her eine unter den Niveaux liegende matte Glasplatte und beleuchten zugleich den Kreis, sowie auch die Trommeln der Mikroskope, und zwar diese von rückwärts, so dass die Ablesung durch Spiegel geschieht. Die Feldbeleuchtung kann durch einen an der Säule angebrachten und mittelst eines durchgehenden Schlüssels 28 von beiden Seiten zu erreichenden Kohlenplattenwiderstandes 27 beliebig geändert werden."

Bei allen Durchgangsinstrumenten ist besondere Sorgfalt der Nivellirung der Axe zuzuwenden, weil eine nicht genau bekannte Neigung derselben gegen den Horizont einen schwer zu eliminirenden Fehler bewirken kann. Soweit Libellen zur Bestimmung der Neigung benützt werden, ist hauptsächlich auf deren sachgemässe Anordnung zu achten. Die das Niveau selbst betreffenden Fragen sind oben im 2. Kapitel genau besprochen,

hier möchte ich nur einer Verbindung mit dem Instrumente gedenken, welche früher mehrfach angewendet worden ist, nämlich der sogenannten „Swinging levels“, welche eine besondere Art der Hängelibellen darstellen. Es ist bekanntlich als ein Vorzug anzusehen, wenn Instrument und Niveau so gebaut sind, dass letzteres auch während der Beobachtung auf der Axe verbleiben kann; das sollen die in Fig. 880 in Verbindung mit dem Kubus eines Durchgangsinstruments dargestellten „Swinging levels“ leisten. In einem Träger b, b ruht eine cylindrische Stahlaxe a, die sich durch je zwei Schrauben und Gegenschrauben s, s der Rotationsaxe genau parallel stellen lässt. Auf diesen Stahlaxen werden möglichst empfindliche Libellen L in der gewöhnlichen Weise aufgehängt.

Nachdem diese gehörig korrigirt sind und die Stahlcylinder a mit der Hauptaxe parallel gestellt wurden, kann man das Instrument für beliebige Höhen einstellen, die Libellen bleiben an ihren Axen hängen und zeigen jeden Augenblick die Neigung der Axe an. Von der Körperwärme des Beobachters werden sie wenig oder gar nicht beeinflusst, weil sie vom Beobachter genügend weit abstehen.

Diese Einrichtung scheint aber wieder ganz ausser Gebrauch gekommen zu sein, und zwar gewiss mit Recht, da sie wohl eine Änderung der Neigung einigermassen sicher anzuzeigen vermag, aber zur Ermittelung von deren absolutem Betrage schon allein wegen ihrer grossen Komplikation unzweckmässig erscheint.

e. Neuere Durchgangsinstrumente von Repsold, Saegmüller, Heyde und aus anderen Werkstätten.

Von grösseren Durchgangsinstrumenten der Neuzeit stellt Fig. 881 ein solches von Repsold dar, welches in dieser Werkstätte in den 70er Jahren gebaut wurde; es dürfte wohl zu den vollkommensten Instrumenten seiner Art zu zählen sein. Die Axe besteht aus zwei stark konischen Theilen und dem kubischen Mittelstück. In Erstere sind die durchbohrten, stählernen Zapfen eingesetzt. Der Kubus trägt auf besondere Abdrehungen aufgeschraubt den Objektiv- und Okulartheil des Fernrohrs, welche ebenfalls wie üblich gegen Biegungen durch ihre konische Form möglichst geschützt sind. Am Okulartheile ist ein Aufsuchekreis mit einem Gegengewicht befestigt, und ein besonderer Okularkasten enthält das Fadennetz und die beweglichen Fäden mit Mikrometerschraube im Sinne der Rektascension. Da Objektiv und Okular mit einander vertauscht werden können, ist der Aufsuchekreis mit den gesammten Okularstutzen nicht direkt am Rohr befestigt, sondern mit seinem Gegengewicht zugleich an einer Ringplatte, welche vorne am Rohr aufgeschraubt ist und einer ganz gleichen am Objektiv entspricht. Der Kubus ist bei D durchbohrt, um die Kollimatoren auf einander richten zu können, die Öffnungen sind durch Deckel verschlossen. Die Zapfen ruhen in Lagern, von denen V vertikal und H azimuthal korrigirbar ist. Die Last des Instrumentes wird gegenbalancirt durch die Gewichte G. Diese heben vermittelst der mit Rollen versehenen Haken R das Instrument. Diese Haken sind so gestaltet, dass Schneide und Rolle, d. h. Angriffspunkt am Instrument

in derselben Vertikalebene liegen. Da man bemerkt hat, dass nach Hebung des Instrumentes die beiden schweren Gewichte, welche dann die äusseren Arme der Ständer S besonders stark belasten, dadurch eine einseitige Belastung der Pfeiler herbeiführen, was ohne Frage deren Unveränderlichkeit beeinträchtigen kann, so hat REPSOLD zuerst die Haken R mit je einer Kette verbunden, welche unten am Pfeiler oder besser am Fussboden befestigt ist und deren Länge so bemessen wird, dass das Gegengewicht aussen nicht zum Aufliegen kommt, sondern nach Herausnahme des Instrumentes von der Kette in der Schwebe gehalten wird. Dadurch wird eine Neigung der Pfeiler nach aussen vermieden; denn die Druckverhältnisse werden ebenso bleiben,

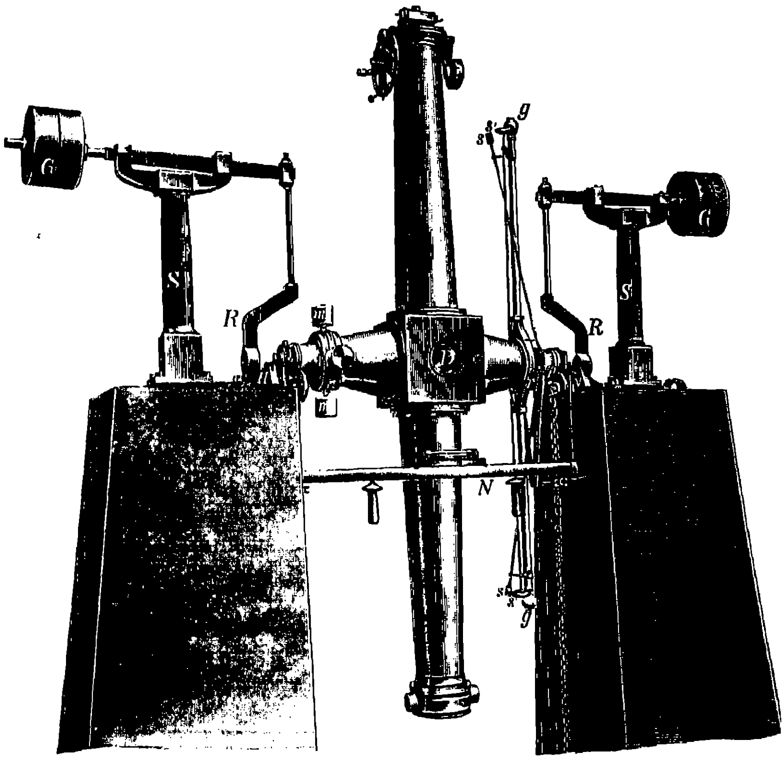


Fig. 881.

als ob das Instrument selbst in den Lagern läge. Diese Einrichtung hat sich, soweit mir bekannt, recht gut bewährt und ist deshalb auch bei den meisten neuen Instrumenten dieser Art und bei Meridiankreisen, wie wir weiter sehen werden, eingeführt worden. Die Haken R und Ständer S sind an den, den Axenzapfen gegenüberliegenden Stellen durchbrochen, um den Strahlen der besonders aufgestellten Beleuchtungslampen freien Durchgang zum Innern des Instrumentes zu gewähren.

Die Klemme besteht aus einem Ring r, welcher von beiden Seiten aus durch die Schlüssel s bei p zusammengepresst werden kann, an diesem Ringe sitzt auch auf der hier verdeckten Seite das Mikrometerwerk zur Feineinstellung, welches durch die Schlüssel s′ bewegt wird. Auf beiden Seiten

werden die Schlüssel stets in handlicher Lage erhalten durch Führungen an den Griffen g, welche zugleich zum Bewegen des Fernrohres und zur groben Einstellung in Deklination dienen; zur Ausgleichung dieser Theile sind die vier Gegengewichte m, m auf einem Ring der entgegengesetzten Axenhälfte aufgeschraubt.

Das grosse Hängeniveau N ist so eingerichtet, dass es bei Nadirbeobachtungen auf der Axe verbleiben kann (vergl. oben S. 74). Selbstverständlich liegen die Berührungspunkte zwischen Niveau und Zapfen im gleichen Querschnitte wie diejenigen zwischen Zapfen und Lager. Starke in die Pfeiler eingelassene Bolzen l dienen der Feinbewegung als Stütze und sichern die Einstellung. Der Umlegebock ist im Allgemeinen von der schon mehrfach beschriebenen Konstruktion, nur sind dessen Dimensionen sowohl wie die des Instrumentes mit seinen Pfeilern so bemessen, dass das Instrument zwischen letzteren umgelegt werden kann, so dass bei dieser Operation keine Erschütterungen durch Hin- und Herfahren desselben enstehen können, was für die Konstanz der Instrumentalfehler gewiss von grossem Vortheile ist. Aus diesem Grunde sind auch die Haken der Äquilibrirungseinrichtungen nach Ost und West ausgebogen und nicht nach Nord oder Süd, wie sonst gebräuchlich.

Ein Durchgangsinstrument ähnlicher Dimensionen will ich hier zur Vergleichung noch kurz anführen; es ist die Form, welche Saegmüller in Washington seinen grösseren Instrumenten giebt. Die Fig. 882 stellt das neuerdings für das U. S. Naval Observatory gebaute Instrument dar, welches dort im I. Vertikal aufgestellt ist:

Die bedeutenderen Abweichungen treten auf in der Balancirung des Instrumentes, die ebenfalls auf jeder Seite bei 1 durch je zwei Rollen bewirkt wird, diese werden aber durch Gegengewichte, die sich unterhalb des Fussbodens befinden, vermittelst eines Hebelsystems und der starken Säulen 2 empor gedrückt. Dadurch werden die Pfeiler überhaupt durch Gegengewichte nicht belastet und ihre Oberfläche bleibt frei, welcher Vortheil in diesem Falle aber nicht ganz zur Geltung kommt, da der eine derselben einen besonderen, krahnähnlichen Aufbau 3 trägt. Dieser ist zum Aufsetzen und Abheben des Niveaus 4 bestimmt, was vermittelst besonderer Räderübertragung so geschieht, dass das Niveau gar nicht mit den Händen berührt zu werden braucht. Auch die Ablesung desselben geschieht durch Verwendung von Prismen über den Blasenenden mit Hülfe eines kleinen Fernrohres bei 5.

Die Umlegevorrichtung ist so eingerichtet, dass sie ganz automatisch funktionirt, indem durch eine Kurbel das Gestänge 6 unter dem Fussboden ein System von konischen Rädern, Fig. 883, bewegt und auf einer eigenthümlich geformten Büchse das Instrument zunächst um den nöthigen Betrag gehoben wird. Sodann wird dasselbe genau um 180° gedreht und zuletzt wieder in die Lager herabgelassen. Die Stangen 7, welche die Lagerstücke 8 tragen, vermitteln diese Bewegungen und das Mittelstück des Fussbodens 9 nimmt an der Drehung theil. Diese Einrichtung ist gewiss sehr bequem, da selbst in der Dunkelheit die Umlegung ohne jede Gefahr für das Instrument vorgenommen werden kann; aber es wäre immerhin wünschens-

werth, dass dieselbe von den Pfeilern durch Verlegung des Theiles 6 ganz unabhängig gemacht würde.

Grössere transportable Passagen-Instrumente mit geradem Fernrohr sind namentlich früher vielfach gebaut worden und stehen auch heute noch be-

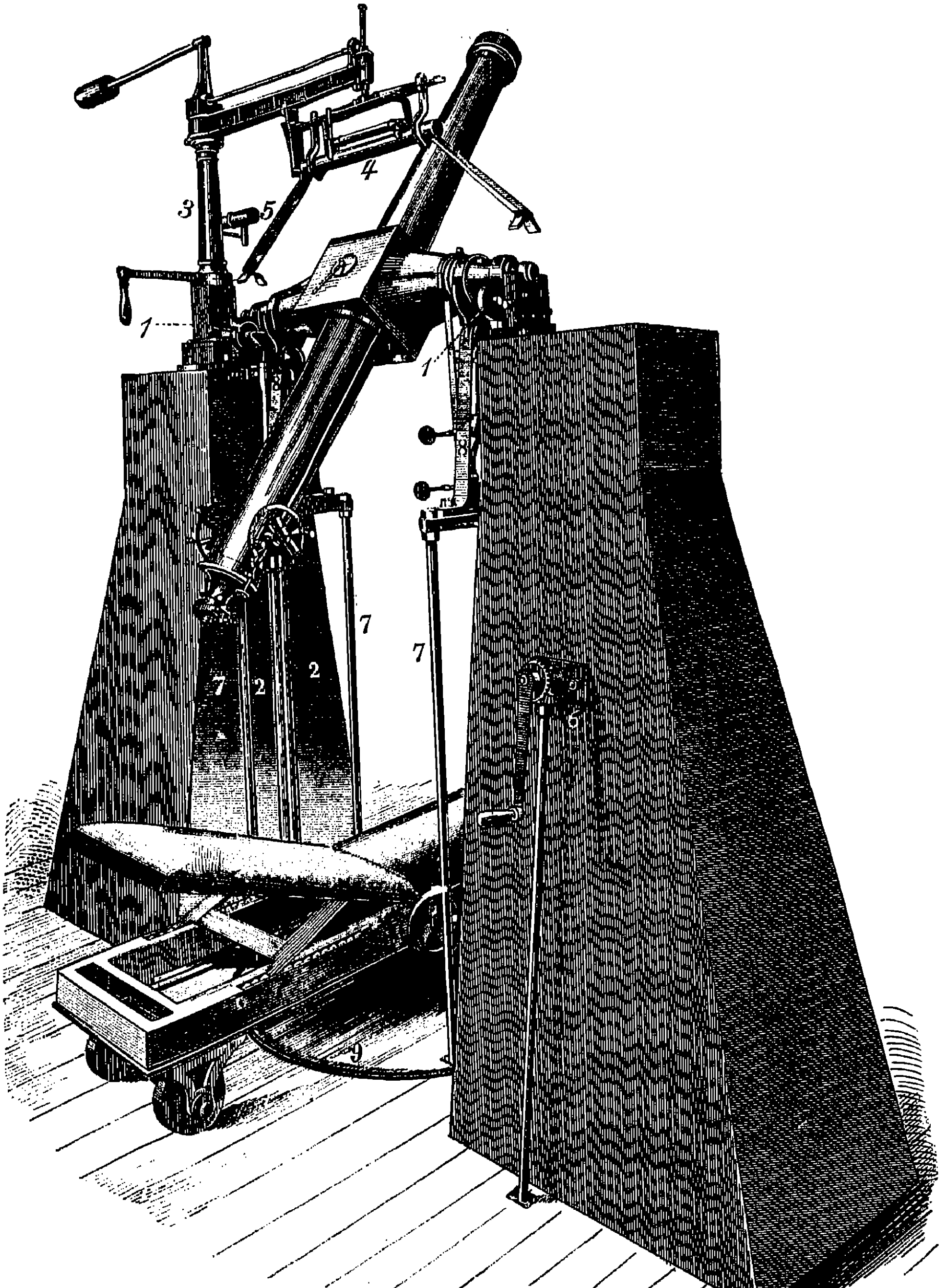


Fig. 882.

sonders in England in Verwendung. Die Fig. 884 zeigt ein solches, wie es von Cooke and Sons in York gebaut wird. Die Pfeiler werden hier natürlich durch eiserne Ständer ersetzt, welche bei diesem Instrument mit dem Obertheil der zweitheiligen Grundplatte aus einem Stücke gegossen sind (Eisen). Der Obertheil ist mit der durch 3 Fussschrauben horizontirbaren Unterplatte durch 6 Schrauben (3 würden auch genug sein) so verbunden, dass diese das Obertheil in tangential etwas erweiterten Löchern durchsetzen. Beide Theile erhalten noch eine gegenseitige Führung durch eine Ringleiste der unteren Platte, welche in eine entsprechende Nuth des Obertheiles eingreift. So lässt sich eine kleine azimuthale Korrektion, wenn auch in etwas umständlicher Weise ausführen. Der Obertheil enthält zugleich die Umlegevorrichtung, welche aus einer starken Gabel besteht, die auf einem mittelst eines Hebels drehbaren Excenter ruht. An dieser Gabel befindet sich

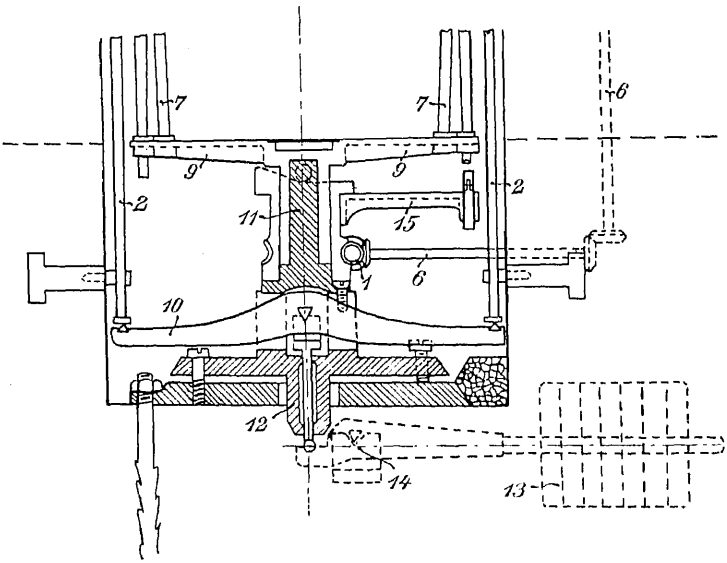


Fig. 883.

auch der Stützpunkt der Klemm- und Feinbewegungs-Einrichtung, sodass eine Lösung derselben beim Umlegen nicht nöthig ist, was die Schnelligkeit, mit welcher umgelegt werden kann, erheblich befördert. Am Okularende ist ein Mikrometer mit beweglichem Vertikal- und Horizontalfaden angebracht, um Differenzen von Zenithdistanzen messen zu können. Der schwere Okulartheil wird durch ein besonderes Gegengewicht am Objektivrohr ausbalancirt. Beide Umstände sind für ein stabiles Verhalten des Instrumentes gegenüber der Durchbiegung selbst bei der konischen Form der Rohrtheile wohl nicht von gutem Einfluss. An diesem Instrument ist auch die Einrichtung der „Swinging levels" Cooke's gut zu sehen. Im Übrigen ist die Ausführung des Instrumentes die sonst gebräuchliche, nur sind hier gleich an beiden Ständern Lampen angebracht, damit man nicht während der Umlegung auch noch diese umzusetzen hat, was gewöhnlich einige Zeit in Anspruch nimmt.

Eine ganz ähnliche Form hat auch Saegmüller seinen transportablen

Durchgangsinstrumenten gegeben, wie Fig. 886 ein solches zeigt, welches durch Anbringung eines genauen und sorgfältig geschützten Niveaus N zum Gebrauche als Zenithteleskop eingerichtet ist. Zu diesem Zwecke ist auch der besondere Okularansatz O mit rechtwinkligem Prisma beigegeben.

In Fig 887 ist noch ein einfaches Durchgangsinstrument der Société genévoise etc. dargestellt, welches zur Bestimmung von Neigung und Kollimationsfehler in seinem schwer gearbeiteten Gestell zugleich einen Quecksilberhorizont aufnimmt, einer besonderen Umlegevorrichtung aber entbehrt.

Durchgangsinstrumente mit geradem Fernrohr sind auch mehrfach in kleinen Dimensionen ausgeführt worden. Sie eignen sich dazu insofern als die Einfachheit der Konstruktion es gestattet, dieselben mit sehr geringen

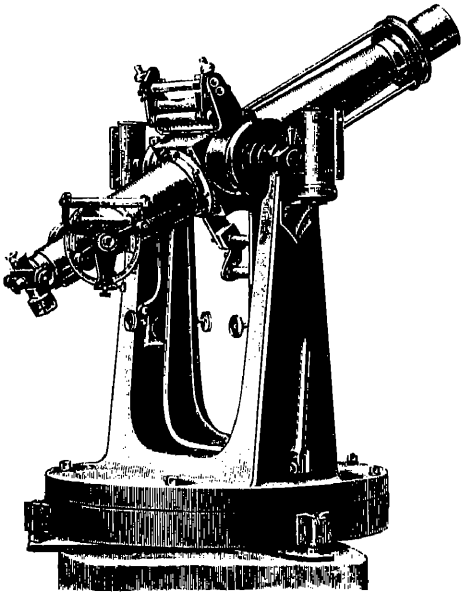


Fig. 884.

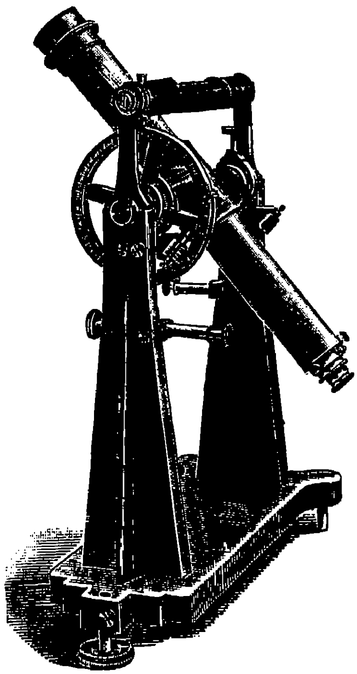


Fig. 885.

Kosten herzustellen, so dass die Anschaffung dergleichen Apparate jedem Privatobservatorium, ja sogar selbstständig arbeitenden Uhrmachern möglich gemacht werden kann. Die Unbequemlichkeit der Beobachtung von Sternen geringer Zenithdistanz kann leicht durch Anwendung eines vor das Okular zu schraubenden Reflexionsprismas beseitigt werden. Ich bringe hier noch zwei solcher kleinen Instrumente zur Darstellung ein solches mittlerer Dimension von Hildebrand in Freiberg, Fig. 888, welches noch höheren Anforderungen gerecht wird, und ein Instrument von G. Heyde von sehr kleinen Abmessungen, Fig. 885. Der Preis des Letzteren beträgt etwa 150 Mk. Nach Beobachtungen von Professor Knorre und auch eignen ist damit eine Zeitbestimmung nach allen Regeln der Beobachtungskunst auszuführen, deren Resultat nicht mehr als $0^s,3$—$0^s,5$ von der Wahrheit abweicht, welches aber den Vortheil hat, dass es nicht wie die später zu erwähnenden Dipleidoskope

von einer anderweit erlangten Zeitangabe abhängt. Allerdings erfordert die sachgemässe Ausführung und Berechnung einer solchen Beobachtung einige Gewandtheit in astronomischen Arbeiten.

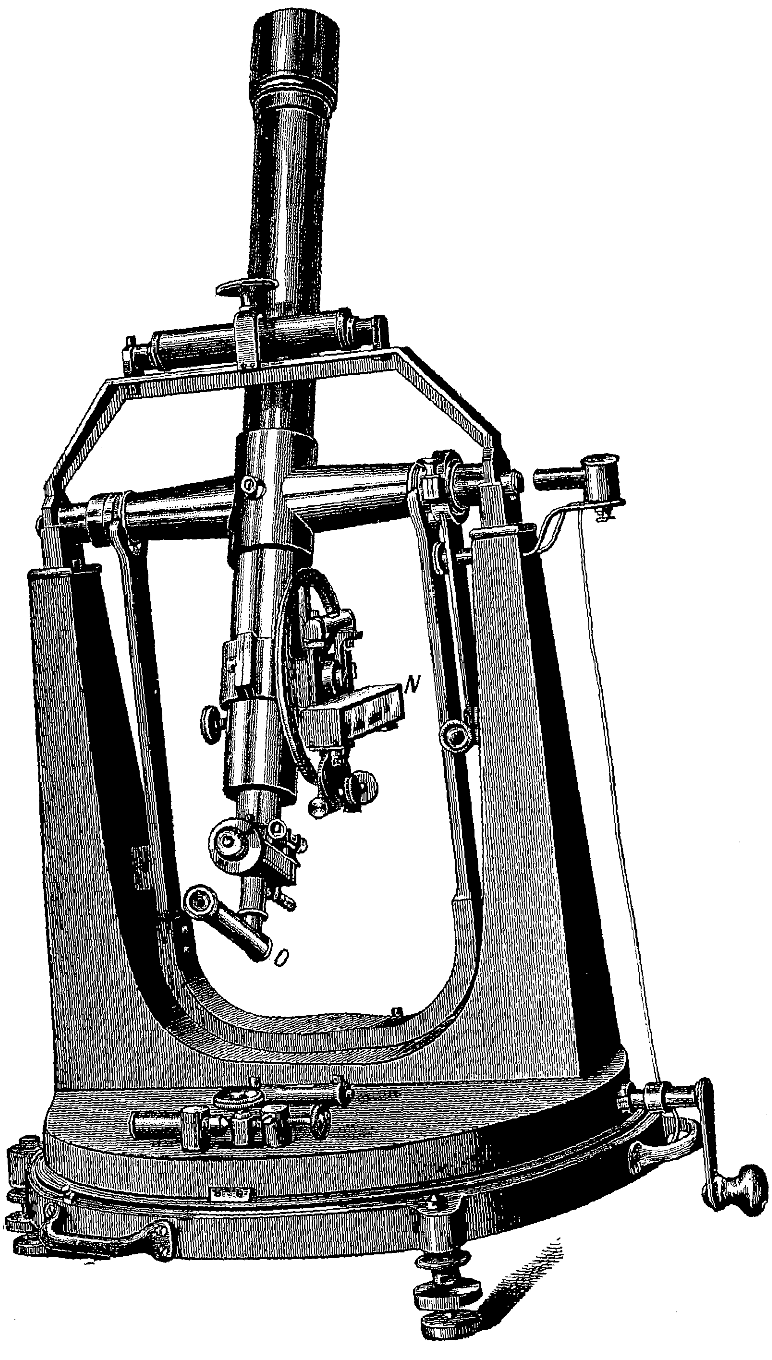


Fig. 886.

B. Die Durchgangsinstrumente mit gebrochenem Fernrohr.

Bei kleineren, transportablen Instrumenten, namentlich bei Universalinstrumenten hat man gegen die Mitte dieses Jahrhunderts begonnen, zur Vergrösserung der Stabilität sowohl, als zur Erlangung einer bequemen Stellung des Auges für alle Zenithdistanzen, das Okularende des Fernrohres in die Axe zu verlegen. Dadurch wird das Fernrohr aus zwei rechtwinklig zu einander stehenden Hälften gebildet, zwischen welchen in der Mitte, im Kubus, ein rechtwinkliges Prisma angebracht ist, um den vom Objektiv

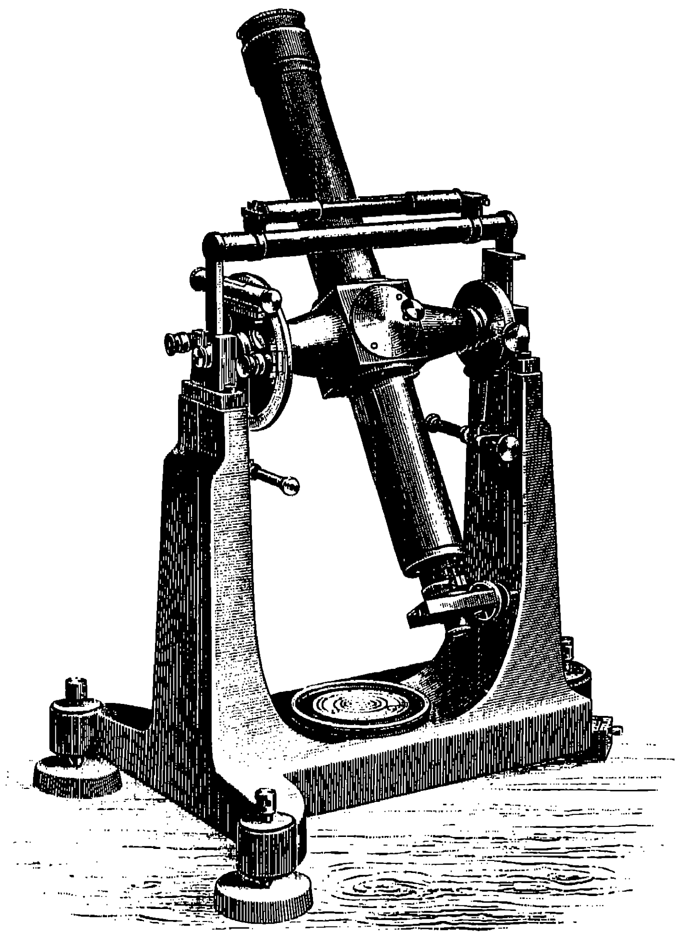


Fig. 887.

kommenden Lichtkegel durch totale Reflexion an der Hypotenusenfläche nach dem Okulartheile zu leiten. Diese Einrichtung hat sich durchaus bewährt und ist namentlich bei transportablen Durchgangsinstrumenten zu besonderer Ausbildung gelangt. Die vielen Zwecke, welchen jetzt bei Gelegenheit geographischer Ortsbestimmungen, bei Messungen auf Expeditionen u. s. w. diese Instrumente dienen, haben veranlasst, dass man ihre Eigenthümlichkeiten, ihre Vortheile und Nachtheile genau untersucht hat und ihnen jetzt eine Vollkommenheit der Konstruktion zu geben ver-

mag, die sie in ihren Leistungen nicht erheblich hinter grossen fest aufgestellten Instrumenten zurücktreten lassen.

Die Vortheile, welche man diesen Instrumenten zuschreiben kann, sind besonders die folgenden:

1. Das Auge bleibt für alle Zenithdistanzen in derselben bequemen Lage, so dass auch etwaigen Auffassungsänderungen, die durch die Stellung des Beobachters bedingt sein könnten, vorgebeugt wird.

2. Die Instrumente lassen sich stabiler bauen als solche mit geradem Fernrohr, weil man die Lagerständer erheblich kürzer machen und so dem ganzen Untertheil eine gedrungene, feste Form geben kann. Auch ist die Aufstellung viel weniger von der Form des Pfeilers abhängig.

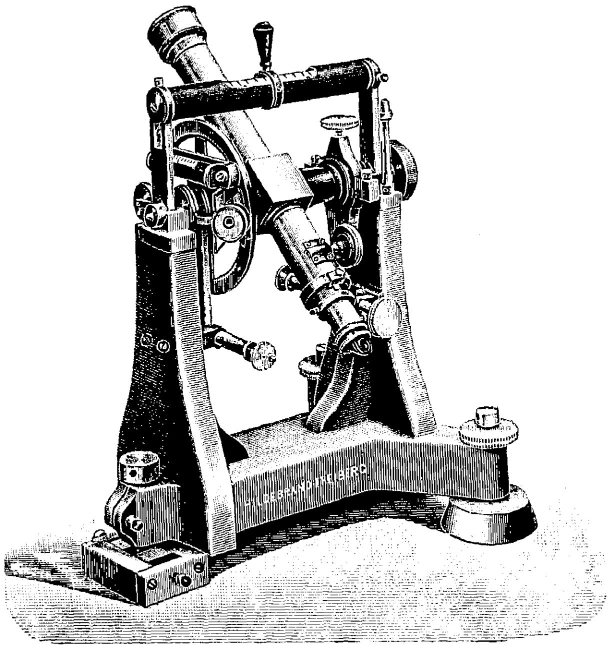


Fig. 888.

3. Die Libelle kann ohne besondere Einrichtungen in allen Lagen des Instrumentes auf der Axe verbleiben, was namentlich für Beobachtungen im I. Vertikal von grossem Werthe ist.

4. Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes ist sehr einfach auszuführen.

Als Nachtheil wäre eigentlich nur das Hinzukommen des Prismas anzuführen, wodurch die Einrichtung des Instrumentes etwas komplicirter wird. Durch geeignete Befestigung des Prismas hat man etwa dadurch entstehende Nachtheile aber jetzt so gut wie beseitigt.

Es giebt eine grosse Anzahl von Konstruktionen, welche sich fast alle an diejenigen, die Pistor & Martins und nachmals Bamberg und die Repsolds angegeben haben, anschliessen. Es mag daher zunächst ein solches Instrument, wie es gegenwärtig von C. Bamberg in Friedenau gebaut wird, eingehend beschrieben werden. Eine Reihe anderer Konstruktionen wird sich sodann daran leicht anschliessen lassen.

a. Die Instrumente von PISTOR & MARTINS, BAMBERG und ähnliche.

Die Fig. 889 und 890 stellen ein älteres und ein neueres Bamberg'sches Instrument in Perspektiv-Zeichnung dar,[1]) so dass eine Vergleichung sich leicht ermöglichen lässt, und die Verbesserungen des neueren Typus erkannt werden können. (Die Bezeichnung in beiden Figuren ist soweit möglich entsprechend gewählt.)

Das Instrument selbst steht auf einem gusseisernen Untersatze U, welcher auf 3 spitzen Fussschrauben ruht, die so vertheilt sind, dass an den beiden

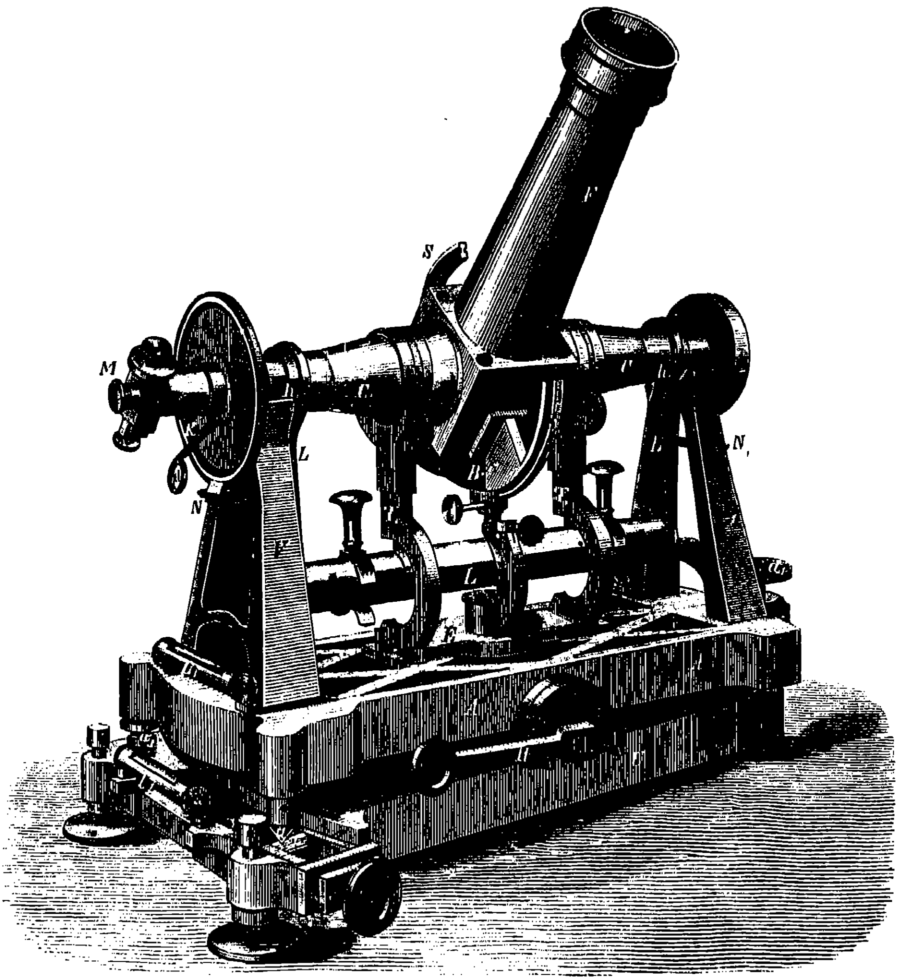


Fig. 889.

Enden einer kurzen Seite je eine Fussschraube sich befindet, während die dritte in der Mitte der zweiten kurzen Seite unterhalb a_1 angebracht ist. Dieser Untersatz kann mit Hülfe der beiden rechtwinklig zu einander ange-

[1]) Die folgende Beschreibung ist einem Aufsatze von Dr. H. Homann entnommen, welcher mir zu diesem Zwecke gütigst zur Verfügung gestellt wurde. Derselbe findet sich ausführlich abgedruckt in Zschr. f. Instrkde. 1891, S. 125 ff. Ausserdem vergl. Löwenherz, Bericht, S. 14 ff.

ordneten Libellen l_1 und l_2 horizontal gestellt werden (der für die ältere Konstruktion passende Untersatz ist in Fig. 891 von oben gesehen dargestellt). Auf seiner Oberfläche befinden sich die Platten für die 3 Füsse des eigentlichen Instruments und zwar für a_1 eine konische Vertiefung α_1, für a_2 ein nach a_1 gerichteter Schlitz α_2 und für die dritte Fussschraube eine ebene Fläche α_3. Die Fussplatte für a_2 ist auf einem Schlitten angebracht, welcher durch die Schraube s bewegt werden kann. Die Grösse der Bewegung ist an einer Skala ablesbar, und es kann durch diese Schraube das Instrument bis zu etwa 6^0 um a_1 azimuthal gedreht werden. Dadurch wird sowohl eine leichte Korrektur des Azimuths ermöglicht, als auch die Benutzung des Instru-

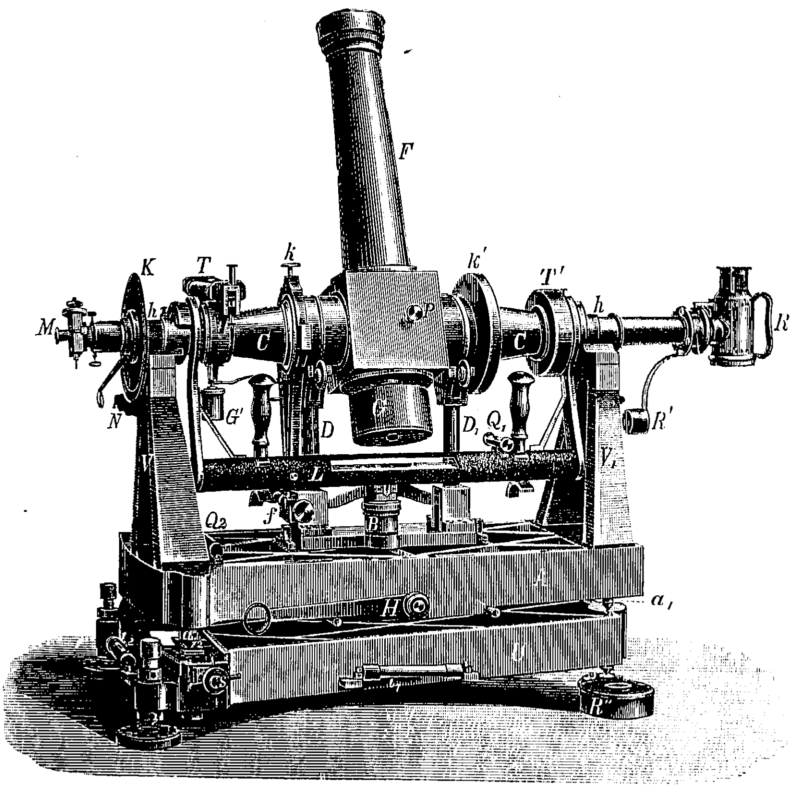


Fig. 890.

mentes zur Beobachtung im Vertikal des Polarsterns (Doellen'sche Methode) wesentlich erleichtert. Die Lagerböcke V und V_1 ruhen auf einem durch starke Kreuzrippen verstärkten Eisenrahmen A von 60 mm Höhe. Am oberen Ende tragen dieselben die beiden Lager für die Axe des Instruments. Die Lager sind aus Rothguss und ragen nach innen etwas hervor, ihre Flächen sind rechtwinklig zu einander gestellt und gewölbt, so dass die Axe an jeder Seite nur an zwei Punkten aufliegt, welche etwa 13 mm vom Rande der Lagerböcke nach innen zu vorspringen. Die Axe wird von zwei Kegeln C, C aus Rothguss gebildet, welche sich beiderseits durch Vermittlung eines kurzen, cylindrischen Stückes an den Kubus ansetzen und mit diesem aus einem Stück

gegossen sind (vergl. Fig. 420). In die Zapfenenden dieser Konen sind besondere cylindrische Rohre eingelassen, welche von einem glasharten Stahlmantel h umgeben sind; diese bilden die eigentlichen Zapfenflächen. Um den Druck auf die Lager möglichst aufzuheben, ist eine Balancirungseinrichtung vorgesehen, welche den grössten Theil des Gewichtes aufnimmt, so dass die Axe nur mit einem Gewichte von etwa 4 kg in den Lagern ruht. Diese Balancirung, welche jetzt eine wesentliche Verbesserung gegen früher aufweist, ist in Fig. 892 besonders dargestellt. Die frühere Einrichtung, Fig. 889, bestand darin, dass zwei mit je zwei Friktionsrollen versehene Scheeren von unten her durch je eine Feder symmetrisch gegen die Axe angedrückt wurden und so einen Theil des Axendruckes aufnahmen. Nun hatten Beobachtungen am Königl. Preuss. Geodätischen Institut gezeigt, dass eine ungleichmässige Spannung der beiden Federn, welche auf dem Transport leicht eintritt, eine Änderung des Kollimationsfehlers herbeiführen kann.[1]) Um für die Folgezeit diesen Fehler, der aus einer solchen Ungleichmässigkeit der

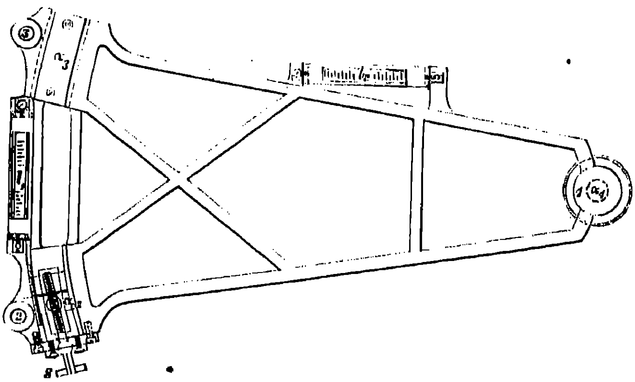


Fig. 891.

beiden Federn hervorgeht, unschädlich zu machen, ist der Brücke auf welcher die Friktionsrollenträger stehen, die Form eines gleicharmigen Waagebalkens gegeben worden. Dadurch wird eine Druckausgleichung herbeigeführt, so dass auch bei ungleicher Spannung der beiden Federn die Axe beiderseitig mit gleichem Drucke auf ihren Lagern aufliegt. Die beiden Federn wurden später durch eine einzige auf die Mittelschneide des Waagebalkens wirkende ersetzt und damit der ganzen Einrichtung die in Fig. 892 dargestellte Gestalt gegeben.

Die Friktionsrollen, welche in ausgerundete Nuthen der Axe eingreifen und wie bei der früheren Einrichtung den Druck derselben aufnehmen, befinden sich an den oberen Enden der Stangen $Z Z_1$. Letztere liegen mit zwei Stahlplatten p und p_1 auf den Seitenschneiden d_1 und d_2 eines gleicharmigen Waagebalkens W, dessen Mittelschneide d aus zwei beiderseitig an den Waagebalken angeschraubten Stücken besteht. Die winkelförmigen

[1]) Prof. Albrecht hat so durch ungleiches Anspannen der beiden Federn, durch welches eine einseitig stärkere Belastung der Axenlager eintrat, Änderungen des Kollimationsfehlers von 0,34″ herbeigeführt.

Lager für die Mittelschneiden d ruhen auf einer Platte Y, an welche unten eine Hülse angesetzt ist. In dieser befindet sich die Feder g, welche gegen den Boden des Federhauses I, I anliegt und von oben her mittelst der durch den Waagebalken hindurchgehenden Schraube b, welche durch die Gegenmutter m festgestellt wird, entsprechend zusammengepresst werden kann.

Die Balancirungsvorrichtung steht zugleich mit dem Umlegemechanismus in Verbindung, welcher in beiden Instrumenten wesentlich derselbe ist. Das Federhaus ist zu diesem Behufe in der Büchse X, X verschiebbar und trägt eine kleine Rolle r, unter welcher ein Excenter E vorgesehen ist. Letzteres wird durch den Hebel H gedreht und damit das Federhaus und gleichzeitig die mit ihm verbundene Brücke B, welche an der Aussenwand der Büchse X, X geführt wird, gehoben oder gesenkt. Auf der Brücke B stehen auf den Untersätzen O und O_1 die Säulen D und D_1, in welchen die Tragstangen Z oben und unten geführt werden, sonst aber frei hindurchgehen. Die Säulen

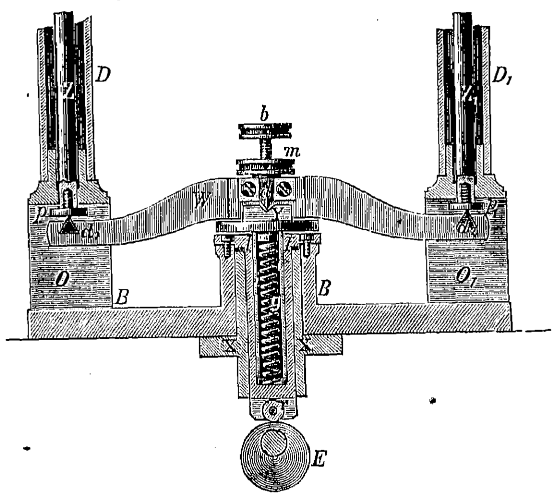


Fig. 892.

reichen bei der tiefsten Stellung des Excenters bis nahe unter die Axe des Fernrohres und tragen an ihrem oberen Ende je einen der Rundung der Axe entsprechend ausgearbeiteten Kopf. Wird nun die Brücke mittelst des Excenters gehoben, so drückt das bisher auf den Lagerträgern noch lastende, nicht von der Feder getragene Übergewicht letztere so weit zusammen, dass die Axe nunmehr auf den Säulen aufliegt und von ihren Lagern vollständig frei wird. In dieser Stellung ruht der Umlegemechanismus und das Fernrohr mit der Rolle r auf dem Excenter, und da diese Rolle abgerundet ist, so lässt sich das Instrument leicht drehen, wobei die Büchse X, X als Führung dient. Die Drehung wird begrenzt durch zwei zu beiden Seiten der Brücke auf dem Eisenrahmen A angeordnete Anschläge, gegen welche sich eine an der Brücke befindliche Nase wechselseitig anlegt, so dass nach erfolgter Umlegung die Axencylinder wieder genau über ihre Lager zu stehen kommen.

Die Axe trägt ferner am Okularende den in Drittelgrade getheilten Auf-

suchekreis K (vergl. Fig. 124), der an einem Vernier N mit einer Lupe auf einzelne Minuten abgelesen werden kann. Die Nonien, von denen sich einer an jedem Lagerträger befindet, sind so eingerichtet, dass sie sich beim Einlegen der Axe in ihre Lager selbstthätig an den Kreis anlegen und beim Ausheben des Instrumentes auch selbstthätig zurückgelegt werden.

Auf die Axe ist ferner der Klemmring k, Fig. 890, aufgepasst, welcher durch eine Klemmschraube fest mit ihr verbunden werden kann. Ein Ansatz an diesem Ring wird durch eine Feder gegen die Schraube f gedrückt, welche zur Feineinstellung in der Zenithdistanz dient. Die Klemme wird auf der anderen Axenseite durch das Gegengewicht k′ äquilibrirt.

Die optische Einrichtung des Instruments besteht aus dem Objektiv, einem rechtwinkligen Prisma, welches die Lichtstrahlen durch totale Reflexion um einen Winkel von 90° ablenkt, und dem mit Mikrometer[1]) versehenen Okulare. Das Objektiv hat bei dem hier abgebildeten Instrumente eine Öffnung von etwa 80 mm, eine Brennweite von etwa 900 mm; bei der Konstruktion ist auf die durch die Zwischenschaltung des Prismas bedingte chromatische Überkorrektion Rücksicht genommen, und die Berechnung der einzelnen Radien ist so durchgeführt, dass die möglichst günstige Vereinigung der Strahlen, welche den Wellenlängen zwischen den Fraunhofer'schen Linien C und F entsprechen, erreicht wird. Das Objektivrohr F ist an den Würfel in der Mitte der Axe angeschraubt und durch das Gegengewicht G balancirt.

Das Prisma π ruht auf einem besonderen Stuhle, welcher mit dem Objektivrohr fest verbunden ist. Die Art der Befestigung ist aus Fig. 420 ersichtlich.

Das Okular lässt sich mit der Platte, welche den beweglichen Faden trägt, um die optische Axe drehen, so dass derselbe auch den Deklinationsfäden parallel gestellt und senkrecht dazu verschoben werden kann. Die Drehung wird durch zwei regulirbare Anschläge begrenzt, so dass sie genau 90° beträgt.

Die Justirung der Stellung des Instrumentes auf dem vorher mittelst der Libellen l_1 und l_2 für sich horizontirten Untersatz erfolgt nach den Libellen L mit dem Querniveau Q_2. Die Libelle L dient gleichzeitig zur Bestimmung der Neigung der Fernrohraxe. Sie hängt auf den Stahlcylindern h an zwei Armen, welche nach aussen hin so weit überstehen, dass die Auflagerungspunkte der Libelle senkrecht über den Punkten stehen, in welchen die Axe auf ihren Lagern aufliegt (in der Ebene l, l Fig. 124). Die Libelle bleibt beim Umlegen des Instruments hängen. Sie legt sich mit zwei Kugelkalotten gegen zwei ebene Flächen an die Säulen D, D_1 an und hängt in Folge dessen etwas schräg, jedoch ist diese Lage beim Einlegen der Libelle in Rücksicht gezogen und wird durch das Querniveau Q_1 kontrolirt. Die Libelle liegt in doppelter Metallfassung mit Glasverschluss. Das äussere Fassungsrohr ist mit Tuch überzogen und zum Anfassen beim Umlegen mit Handgriffen versehen; geeignete Füsse gestatten die Libelle hinzustellen.

[1]) Die neueren Instrumente dieser Art sind statt des einfachen Mikrometers mit einem nach Repsold's Angaben konstruirten Mikrometer zur Aufhebung des „persönlichen Durchgangsfehlers" versehen. (Vergl. Repsold's Mikrometer.)

Den Libellen pflegt man eine Empfindlichkeit von etwa 1″ auf den Niveautheil zu geben.

Für Polhöhenbestimmungen nach der Horrebow-Methode trägt die Axe schliesslich noch das in den Fig. 893 u. 894 gesondert dargestellte Niveau T, welches durch einen gleich schweren Ring T′ auf der anderen Seite der Axe balancirt wird.

Die Libellenrohre D und D′ werden auf der Axe durch einen Ring R gehalten, der durch eine Schraube, welche gleichzeitig das Gegengewicht G′ trägt, festgeklemmt werden kann; derselbe läuft in zwei Arme A und A′ aus, von deren Enden die Rahmen Z und Z′ nach oben führen. Im Rahmen Z ruht das Libellenlager L, beweglich um die kugelförmigen Enden einer Aussenaxe, die in konische Höhlungen der Schrauben S und S′ eingreifen. Im Rahmen Z′

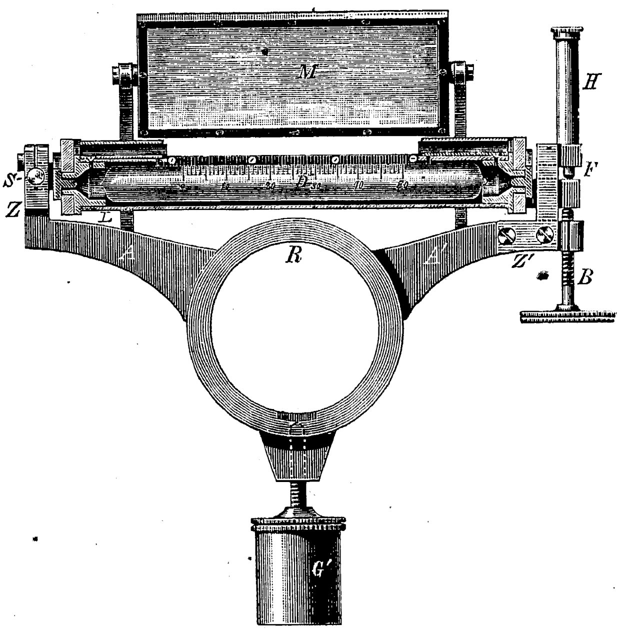


Fig. 893.

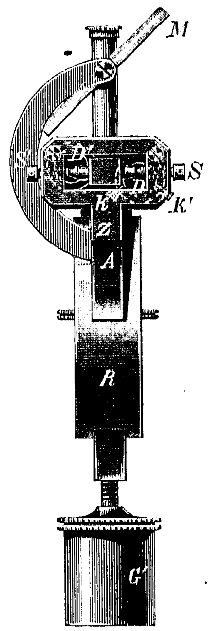


Fig. 894.

liegt das Libellenlager auf der Schraube B und wird an diese durch eine im Federhaus H befindliche, auf den Stift F wirkende Feder angedrückt. Auf dem Libellenlager sind zur gegenseitigen Kontrole zwei Libellen D und D′ parallel neben einander angeordnet, davon ist D durch die Schräubchen k und k′ besonders korrigirbar. Zur bequemeren Ablesung befindet sich über den Libellen der Spiegel M. Um zu verhindern, dass beim Drehen des Instrumentes die Niveaus zu sehr geneigt werden, ist eine in Fig. 890 sichtbare Gabel vorgesehen, welche der Bewegung des Libellenträgers nur einen geringen Spielraum lässt.

Ein nach denselben Principien gebautes älteres Instrument hat Sawitsch[1])

---

[1]) Sawitsch, Abriss der prakt. Astronomie, übersetzt von C. F. W. Peters (Leipzig 1879) S. 89 ff. und Carl, Repertorium, Bd. XVI, S. 245.

an der Hand eingehender Detailzeichnungen beschrieben. Es stammt aus der Ertel'schen Werkstätte in München, ebenso wie ein weiteres von etwas grösseren Dimensionen, welches Ende der 70er Jahre gebaut worden ist. Die Fig. 895 zeigt das erstere in schematischer Darstellung und die Fig. 896 das zweite in perspektivischer Zeichnung. Zu Fig. 895 mag noch folgende kurze Erläuterung nach SAWITSCH hier einen Platz finden.

Auf dem mittelst dreier Fussschrauben[1]) horizontirbaren, massiven, kreisförmigen Ringe ruht der Oberbau durch Vermittlung eines starken Zapfens, der in einer in der Mitte des Ringes durch starke Speichen befestigten Büchse seine Führung hat.

Der Oberbau, der sich in Folge dieser Einrichtung azimuthal drehen lässt, besteht aus einer Platte mit den beiden Lagerständern. Die azimu-

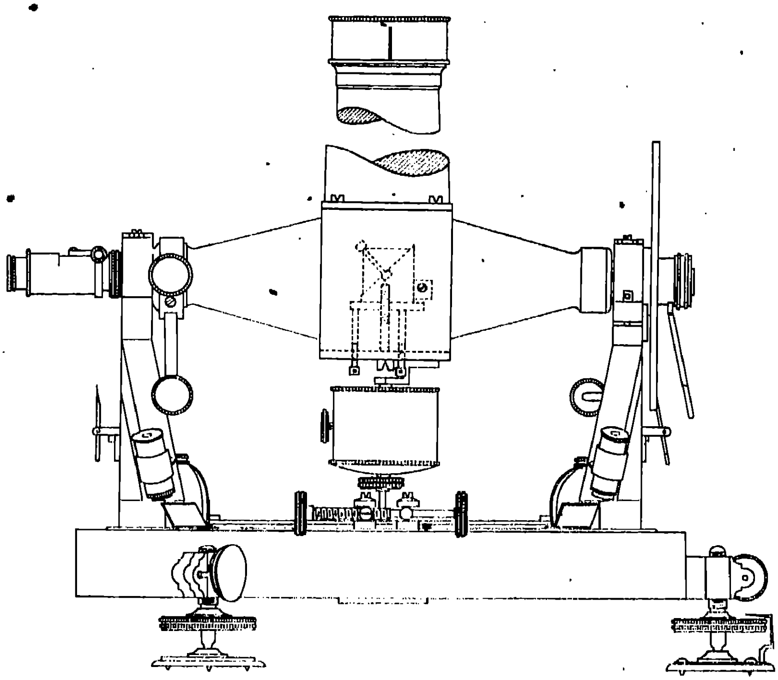


Fig. 895.

thale Bewegung kann durch eine besondere Klemmschraube und Feinbewegung fixirt werden. Diese Einrichtung gestattet also in beliebigen Vertikalebenen zu beobachten. Das Fernrohr besteht aus dem Objektivtheil und einem der konischen Axentheile. Beide Konen und der Kubus bestehen aus einem Stück. Auf der einen Seite des Kubus sitzt das Objektivrohr, während die entgegengesetzte durch eine starke Platte verschlossen ist. Diese trägt auf ihrer unteren Fläche das Gegengewicht und auf der inneren den Stuhl für das Prisma. Entgegengesetzt der jetzigen Methode der Befestigung desselben

[1]) Die in der Axenrichtung gelegene Fussschraube trägt einen getheilten Kopf, an welchem vermittelst eines Zeigers Theile ihrer Umdrehung abgelesen werden können; dieselbe soll, wie oben im Kapitel über das Niveau beschrieben worden ist, zur Untersuchung der Axenlibelle und zur Bestimmung ihres Theilwerthes dienen.

hat man es früher — und namentlich deshalb habe ich dieses Instrument hier noch beschrieben — unabhängig vom Objektivrohr angebracht. Eine Zugschraube und 3 Druckschrauben halten eine ebene Platte mit dem Prismenstuhl, auf welchem das Prisma durch eine besondere Spange befestigt ist. Diese Schrauben gestatten eine Drehung um die Rotationsaxe des Instrumentes und um eine dazu senkrechte in der Ebene der Hypotenusenfläche liegende Richtung auszuführen, während vermittelst eines besonderen Ansatzes und zweier Schrauben eine Drehung um die Axe des Objektivrohres vorgenommen werden kann.

Man sieht aus der Zeichnung, dass die Sicherheit der Prismenlage keine sehr grosse ist, und das hat sich auch beim Gebrauche derartig eingerichteter

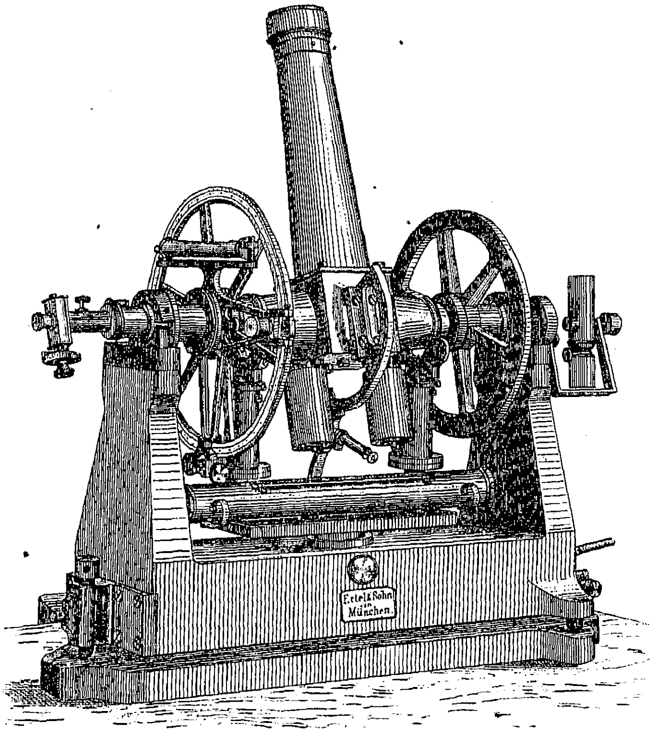


Fig. 896.

Instrumente gezeigt, weshalb man neuerdings die früher beschriebene Befestigung des Prismas am Objektivrohr vorzieht.

Der Aufsuchekreis befindet sich bei diesem Instrumente an dem dem Okular entgegengesetzten Ende, während das grössere, Fig. 896, denselben auf der Okularseite trägt, und zwar ausgerüstet mit der Libellenalhidade, wie sie auch z. B. die gleich zu beschreibenden Repsold'schen Passagen-Instrumente dieser Art besitzen. Die Wahl für die Lage des Einstellungskreises ist mehr oder weniger von dem Gebrauche in der betreffenden Werkstätte und dem Wunsche des Auftraggebers abhängig. Beide Lagen haben ihre Vorzüge und ihre Nachtheile. Ich würde die Okularseite für denselben vorziehen, weil

der Beobachter, ohne seinen Platz zu verlassen, die Einstellung ausführen kann. Zur Nivellirung ist dem kleinen Ertel'schen Passagen-Instrumente noch ein Aufsatzniveau beigegeben, während das grössere ein weit zweckentsprechenderes Hängeniveau besitzt.

Da es für den praktischen Astronomen von besonderem Interesse sein wird, Vergleiche zwischen den einzelnen Konstruktionen gleichen Zwecken dienender Instrumente anstellen zu können, gebe ich hier auch noch die Abbildung eines gebrochenen Passagen-Instrumentes aus der Wanschaff'schen Werkstätte, Fig. 897, eines der neueren Instrumente von HILDEBRAND in Frei-

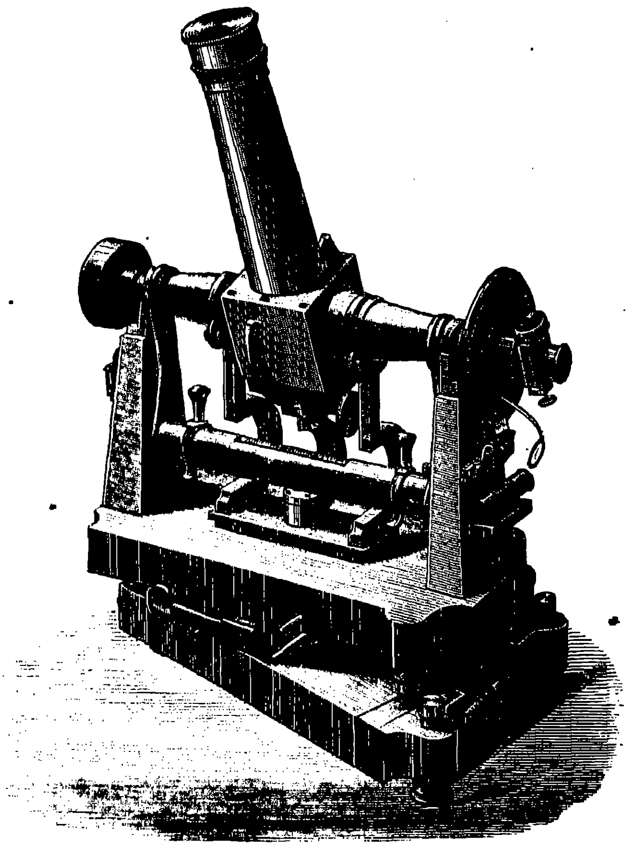


Fig. 897.

berg, Fig. 898, welches den später zu beschreibenden Universaltransit nahe kommt und eines solchen, wie sie G. HEYDE in Dresden baut, Fig. 899. Da das letztere in mancher Beziehung von der gebräuchlichen Form abweicht, soll noch eine kurze Beschreibung desselben gegeben werden, die ich der gütigen Mittheilung des Herrn HEYDE selbst verdanke. Die Fig. 900 stellt ein ähnliches Durgangsinstrument in einer Ansicht dar, wie es in noch nicht ganz vollendetem Zustande aus den Lagern herausgehoben ist, so dass die besonderen Konstruktionstheile besser sichtbar sind.

Wie bei BAMBERG ist der eigentliche Lagerträger auf einen besonderen Untersatz aufgesetzt, Fig. 899, welcher die Einrichtung für stärkere Ver-

änderungen des Azimuthes bei Beobachtungen im Vertikal des Polarsterns enthält. Mittelst eines Hebels und Excenters wird der Umlegebock gehoben und gesenkt. Derselbe trägt die beiden Arme 2 und 2′, Fig. 900, die oben die Scheeren mit den beiden Friktionsrollen 1 und 1′ aufnehmen. Diese endigen unten in den Stiften bei 3, 3′ welche ihrerseits durch das je ein plattenförmiges Ende der um die Axen 3, 3′ drehbaren Hebel unterstützt wird. Der gespaltene andere Hebelarm trägt die Gewichte 4, 4′, die das Gewicht des ganzen, bei der grossen Öffnung von 4 Zoll etwas schweren Instrumentes frei äquilibriren.

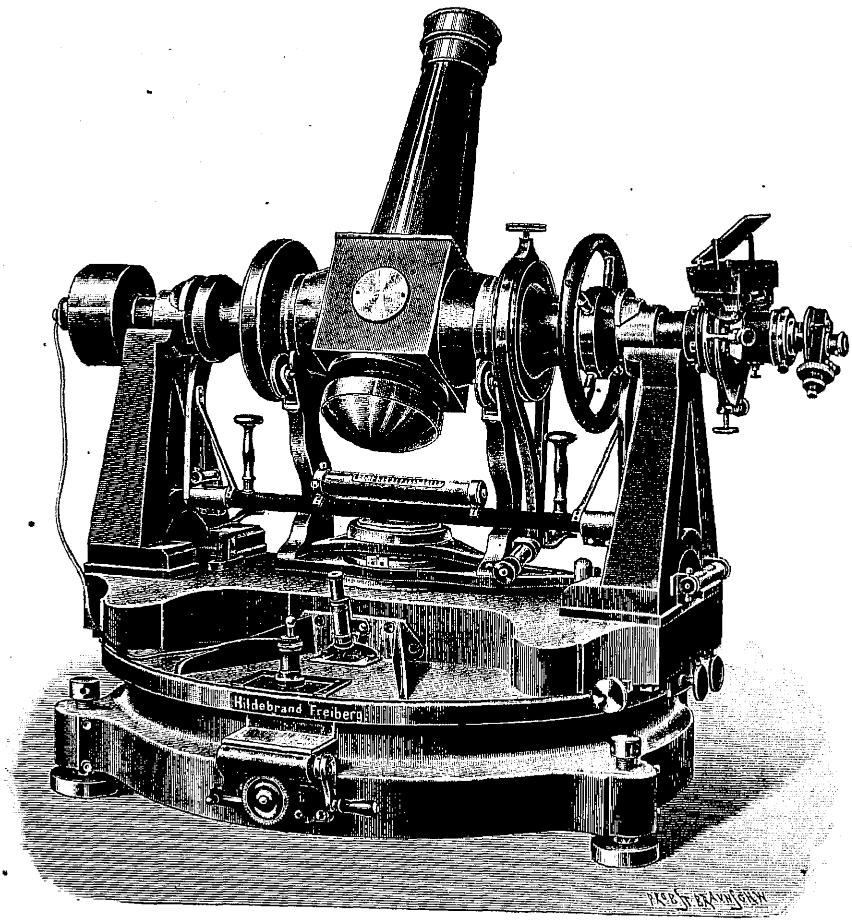


Fig. 898.

Dadurch ist die Wirkung der ungleichen Spannung von Federn umgangen. Bei später gebauten Instrumenten hat Heyde aber auch die Waagebalkeneinrichtung zur Anwendung gebracht, wie sie oben bei dem Bamberg'schen Instrument beschrieben wurde. Damit wird allerdings immer die Lage des Niveaus senkrecht unter der Rotationsaxe unmöglich. Die Lager 5 u. 5′ springen ebenfalls soweit nach innen vor, dass das Niveau 12 in einer auch die Lagerpunkte enthaltenden vertikalen Ebene die Zapfen berührt. Ein besonderer Ring, der für sich äquilibrirt ist, dient dem doppelten Horrebow-Niveau zum Lager.

Auf der anderen Seite der Axe ist bei 6 die Klemme, die aber in diesem Falle an das Lagergestell selbst angreift, welches auch die Feinbewegung trägt. In Folge dessen muss Klemm- und Feinbewegung beim Umlegen gelöst werden, was immerhin umständlich ist, wenn auch vielleicht etwas sicherer wirkend als bei der Bamberg'schen Konstruktion. Bei 8 ist der Aufsuchekreis auf das das Okular 9 tragende Axenende aufgesetzt, während an dem anderen Ende die Beleuchtungslampe 10 nebst kleinem Gegengewicht 11 angebracht ist, sodass diese also beim Umlegen von selbst mitgeht. Bei der Konstruktion der Klemme war es nöthig, der Fassung des Niveaus 12 eine besondere Form zu geben, die aus der Figur ersichtlich sein dürfte; ob damit aber die Stabilität desselben nicht beeinträchtigt wird, mag dahingestellt bleiben, während sonst die Heyde'sche Einrichtung des Instrumentes auf besondere

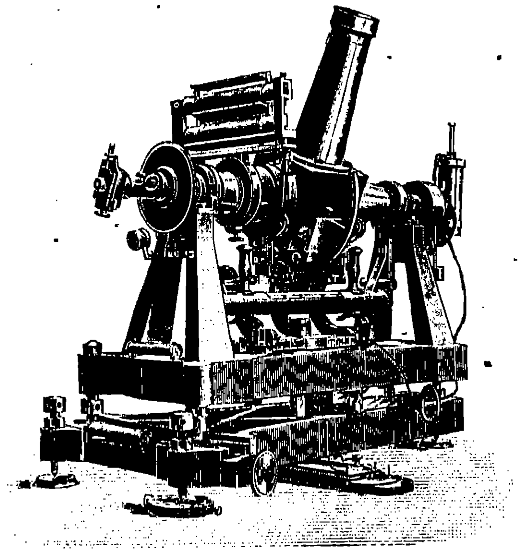


Fig. 900.

Festigkeit berechnet ist und ausserdem in den wesentlichen Theilen sich durch Einfachheit auszeichnet. Zu Beobachtungen nach der Horrebow-Methode ist noch das Doppelniveau 7 beigegeben.

Ein einfaches Passagen-Instrument hierher gehöriger Art aus der Repsold'schen Werkstätte stellt Fig. 901 dar. Die von der gebräuchlichen und oben mehrfach erläuterten Form abweichenden Einrichtungen mögen hier noch besonders erwähnt werden. Die Stellschrauben für die Horizontirung haben ihre Muttergewinde in dem Untersatz 1, während der Obertheil nur mit zwei planen und einer einen Körner enthaltenden Fläche aufruht. Die Anordnung der drei Schrauben ist im Gegensatz zu anderen Konstruktionen so gewählt, dass sie zur Gesichtslinie des Fernrohrs symmetrisch liegen, was als eine sehr zweckentsprechende Neuerung anzusehen ist. Die Azimuth-Korrektion bei 2 ist an der Längsseite des Untersatzes angebracht. Sie wird durch zwei Druckschrauben bewirkt, wodurch die einmal erlangte Stellung wohl sehr gut gesichert, aber die Korrektion vom Okular aus etwas

unbequem ist. Die Umlegevorrichtung wird gebildet durch eine in der Figur nicht sichtbare eiserne Stange mit Griff 8, welche unter der Fussplatte des Obertheiles ihre Führung hat. Sie wirkt direkt auf einen Winkelhebel, der einen Stift hebt, welcher in der nach unten in eine Büchse auslaufenden runden Platte 3 geführt wird. Durch Vermittlung dieses Stiftes wird ein Konus, mit welchem die Arme 4,4 verbunden sind, die ihrerseits die beiden Ständer 5,5 tragen, gehoben. Innerhalb dieser Ständer bewegen sich die oben in die gewöhnlichen mit Friktionsrollen versehenen Gabeln auslaufenden cylindrischen Stäbe 5a, welche mit ihrem unteren Ende in Ausschnitten der Ständerröhren auf der in ihrer Mitte unterstützten Feder f

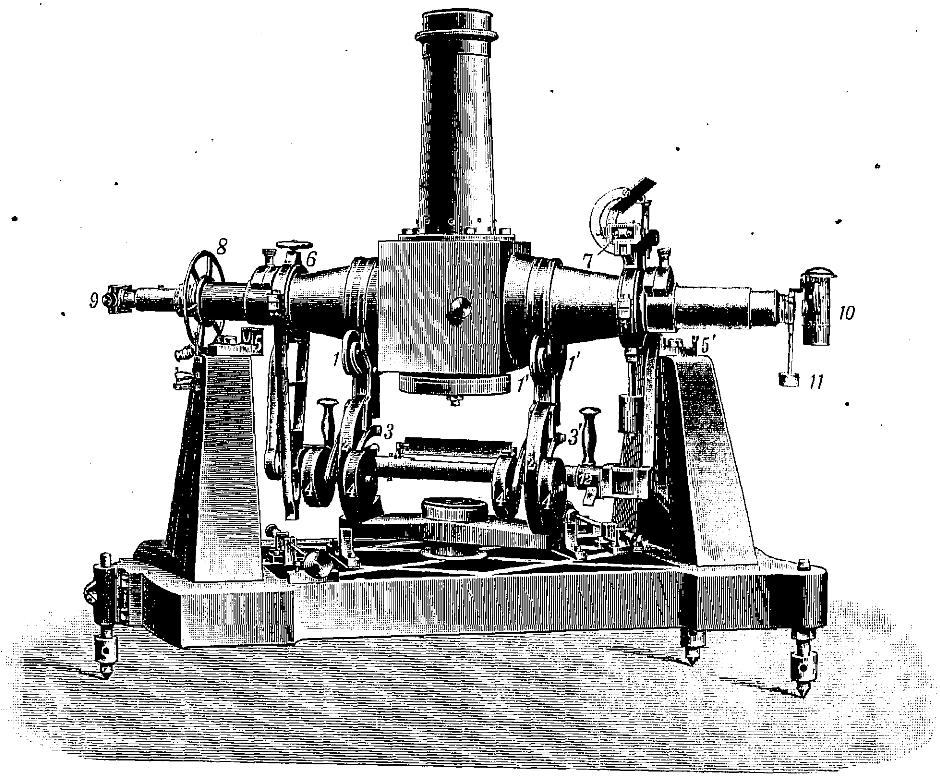


Fig. 900.

aufruhen. Diese Feder wirkt somit ähnlich wie ein gleicharmiger Waagebalken und verhindert einen ungleichen Druck an den beiden Axenenden. Oberhalb der die Feder f stützenden Schneide befindet sich unterstützt von einer starken Spiralfeder die Friktionsrolle r, welche den cylindrisch abgedrehten Mitteltheil der Axe vermittelst einer aufgesetzten Führungsleiste derartig unterstützt, dass eine Durchbiegung unmöglich gemacht wird. Auf den einen der genannten Ständer, welcher den vom Okular abgewendeten Theil der Axe stützt, kann mittelst einer Gabel und eines damit verbundenen Bogenstückes die Beleuchtungslampe 7 gesteckt werden. Durch letztere Einrichtung wird bewirkt, dass die Lampe ziemlich weit von den Lagern abgerückt werden kann, und dass dem Instrument selbst keinerlei einseitige Belastung

dadurch ertheilt wird. Das Fernrohr und die Axe weisen nichts Eigenartiges auf, nur mag auf die Einrichtung der Gegengewichte 9, 9 aufmerksam gemacht werden, welche so gewählt ist, dass das Niveau durch dieselbe nicht beeinflusst wird. Die Klemme ist möglichst nahe an den Kubus heran-

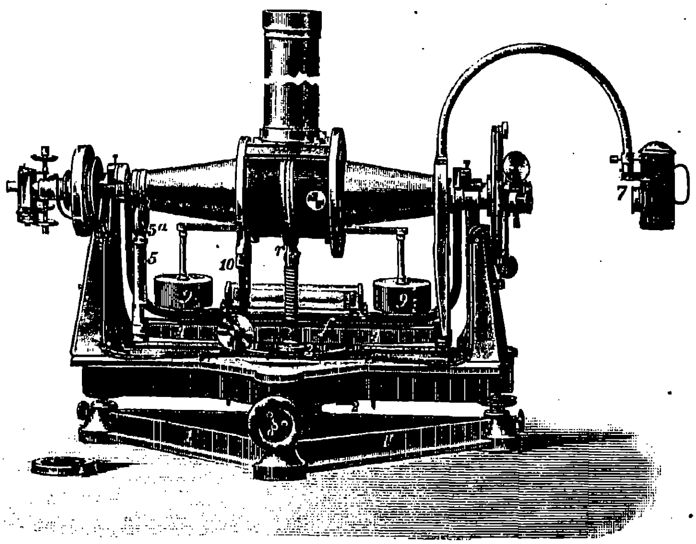


Fig. 901.

gerückt, um jede Torsion zu vermeiden. Sie hat ihren Angriffspunkt an der Horizontalstange des Umlegebockes und kann somit beim Umlegen in ihrer Lage verbleiben. Die Klemmung erfolgt wie bei den anderen Instrumenten durch seitlichen Druck vermittelst der Schraube 10.[1])

b. Das Universal-Transit-Instrument von Bamberg.

Ein Instrument, welches nach einem Vorschlage des Herrn Geheimrath Förster zur Beobachtung der Durchgänge der Gestirne durch einen beliebigen Vertikal mit Leichtigkeit benutzt werden kann, und welchem man daher den Namen Universal-Transit-Instrument gegeben hat, ist in den 70er Jahren von Bamberg für die Berliner Sternwarte gebaut worden.

Fig. 902 stellt dieses Instrument dar.[2])

Der Körper der horizontalen Axe ist bei dem in Rede stehenden Instrument in derselben Länge und Stärke gebaut, wie bei den bisherigen grossen, festen Durchgangsinstrumenten, deren Axen in der Regel auf je zwei isolirten, festen Steinpfeilern gelagert sind. Bei dem Universal-Transit ruht jedoch diese Axe mit ihren Enden nicht auf zwei festen Pfeilern, sondern auf sehr stark gebauten eisernen Pfeilerstativen, welche aus einem durch ein kräftiges Speichenwerk überaus solide gestalteten kreisförmigen, eisernen

[1]) Eine Klemmung dieser Instrumente durch eine tangential wirkende Schraube, welche den an der der Feinbewegungseinrichtung gegenüber gelegenen Seite aufgeschnittenen Klemmring zusammenpresst, würde ich in allen diesen Fällen vorziehen.

[2]) Die Beschreibung sowie die Figur sind entnommen aus Loewenherz, Bericht, S. 6 ff.

Rahmen hervorgehen und somit untereinander in sehr fester Verbindung sind. Dieser ganze starke Rahmen mit den Stativpfeilern ist durch weiterhin zu beschreibende Einrichtungen auf der Plattform eines festen Mauerpfeilers

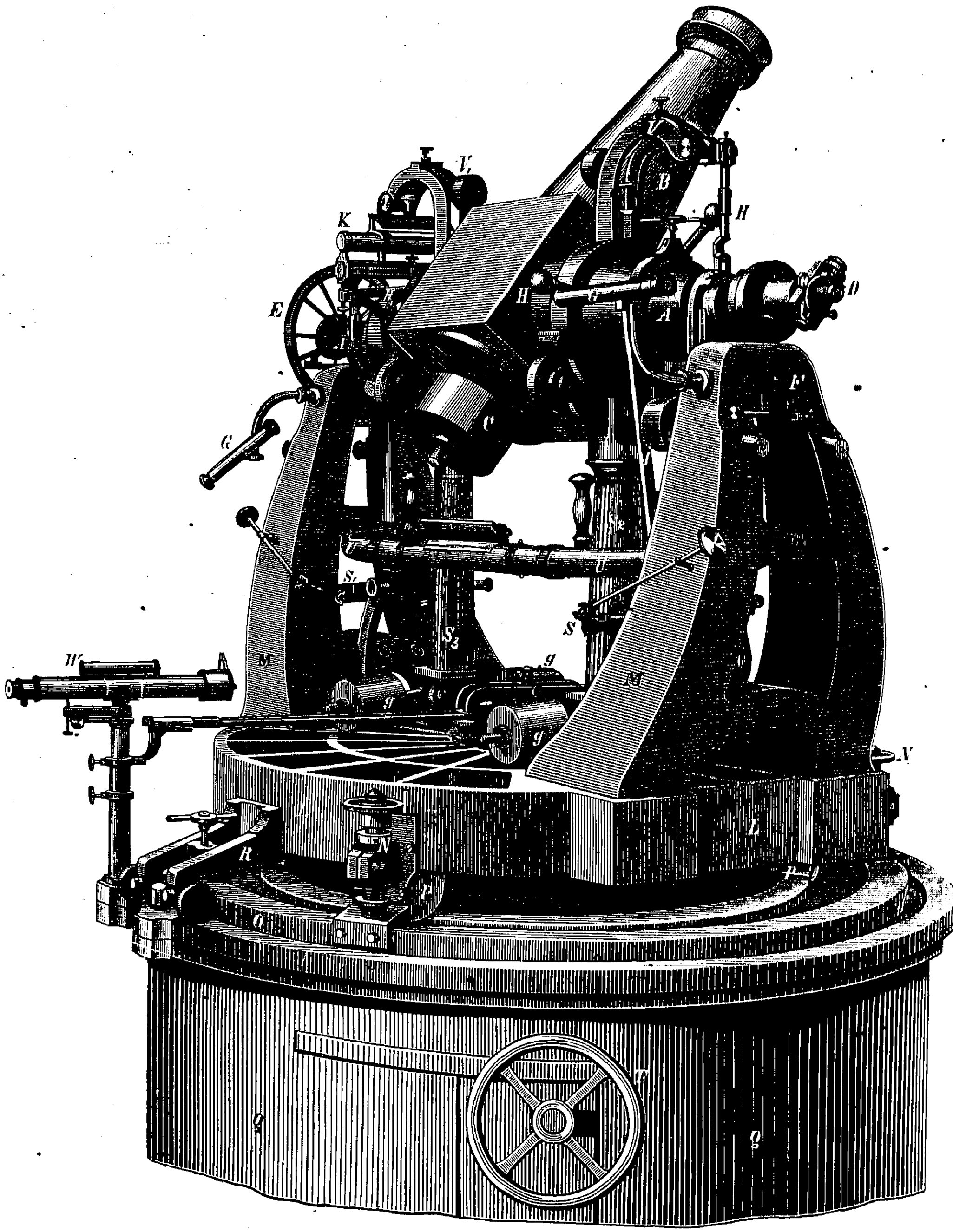


Fig. 902.

drehbar aufgestellt und in beliebigen Azimuthen bequem und sicher fest zu klemmen.

Der Abstand der in den beiden eisernen Pfeilerstativen gebetteten Lager für die Zapfen der Horizontalaxe beträgt 95 cm, die Dicke der Zapfen 8,1 cm.

Ein gebrochenes Fernrohr wurde gewählt, weil ein solches bei der nöthigen Stabilität allein es ermöglicht, in allen Lagen des Fernrohrs die Libelle an der Horizontalaxe hängen zu lassen, sowie Beobachtungen im Quecksilberhorizont schnell und bequem anzustellen und die Lage und Stellung des Beobachters sowohl für sich, als auch zu den verschiedenen Theilen des Instrumentes möglichst unveränderlich zu halten, wobei eine Einseitigkeit der Temperatureinwirkung durch den Beobachter auf die Pfeiler mittelst passender Schutzvorrichtungen leicht ausgeschlossen werden kann.

Natürlich musste unter diesen Umständen das Objektivrohr besonders stark und möglichst biegungsfrei, also mit sehr starker konischer Verjüngung von dem Kubus der Horizontalaxe ausgehend hergestellt werden, wodurch die sehr bedeutenden Dimensionen dieses Kubus mitbestimmt wurden, welche ausserdem auch für eine möglichst solide Lagerung des Prismas, das im Übrigen mit dem Objektivrohr fest verbunden ist, sehr günstig waren. Die grosse Metallstärke dieser und anderer Theile des Instrumentes und die damit verbundene Schwere des Ganzen trägt zur Stabilität sowohl in mechanischer als thermischer Hinsicht bei.

Die Öffnung des von Dr. H. Schröder angefertigten Objektivs beträgt 115 mm und die Bildweite 1290 mm, so dass in der Faden- und Mikrometerebene des Fernrohrs einer Bogensekunde ein linearer Abstand von etwas mehr als sechs Tausendtheilen des Millimeters entspricht, eine Grösse, die zur Pointirung auf wenige Hunderttheile der Bogensekunde ausreicht.

Das Stativ des Transits wird von dem kreisförmigen, eisernen Speichenrahmen L gebildet, welcher mit entsprechenden Vorsprüngen für die 3 Fussschrauben N und die beiden Lagerträger M versehen ist. Letztere sind fest mit dem Rahmen L verbunden und haben einen beträchtlichen Querschnitt, sind aber hohl gegossen. Um raschen partiellen Temperaturwirkungen vorzubeugen, sind Rahmen und Träger vollständig mit starkem Tuche bekleidet. Die drei Stellschrauben N stehen um je 120° von einander ab und zwar so, dass eine Schraube in der durch die Horizontalaxe gehenden Vertikalebene steht. Die Unterlagplatten der Fussschrauben sind radial mit Rinnen versehen und schleifen mit entsprechenden Führungsbacken auf einem _\‾.‾/_ förmigen Kreisschlittenlager O, an welchem sie in jeder Lage durch Klemmschrauben fest geklemmt werden können, und zwar so sicher, dass jede zufällige Veränderung des Azimuths durch Verstellung der Fussplatten ausgeschlossen ist.

Die Drehung des Fussrahmens L erfolgt auf drei an der Unterfläche gelagerten Rollen P, deren Axen radial gerichtet sind und zwischen den Fussschrauben und in der Mitte des Rahmens ihre Lager haben; die Rollen gleiten auf einer mit dem Schlittenlager O konzentrischen Bahn, wenn die Fussschrauben um einige Umgänge hochgeschraubt sind (vergl. Altazimuthe). Die beiden koncentrischen Bahnen sind aus einem Gussstück hergestellt mit der eisernen Kopfplatte, welche den Abschluss des runden Steinpfeilers bildet, auf dem das Instrument montirt ist.

Die beiden Träger M sind oben mit winkelförmigen Fernrohrlagern versehen, welche in der mehrfach erläuterten Weise konstruirt sind, und die Zapfen in demselben Querschnitt berühren wie die Hängelibelle U, welche auch beim Umlegen der Fernrohraxe auf derselben hängen bleiben kann.

Das Objektiv des Fernrohrs ist in der gewöhnlichen Weise gefasst; um den Einfluss der Ausdehnungsverschiedenheit von Glas und Messing unschädlich zu machen, liegt der cylindrische Rand des Glases gegen zwei feste Stücke eines Cylindermantels an, während ein durch eine kräftige Feder gespannter Backen der Ausdehnung Spielraum gewährt. Der bewegliche Backen ist so gelegen, dass nur Lagenveränderungen des Objektivs in der Rotationsebene der Absehenslinie möglich sind, der Kollimationsfehler des Fernrohrs aber nicht beeinflusst wird. (Vergl. Kapitel Fernrohr.)

Das Reflexionsprisma im Inneren des Axenkubus ist mit dem Objektivrohr B verbunden; beide Kathetenflächen liegen auf vier festen Punkten auf und werden in dieser Lage durch je vier Schrauben so gehalten, dass jede Formveränderung des Prismas ausgeschlossen ist. Auf diese Weise ist nicht allein eine möglichst unveränderliche Lage des Prismas gegen das Objektiv gesichert, sondern es ist auch möglich, durch einfache Bearbeitung auf der Drehbank eine genaue normale Lage der Kathetenflächen gegen die gebrochene optische Axe ohne Korrektureinrichtung zu erreichen, so dass schliesslich nur ein sehr kleiner Kollimationsfehler am Fadennetz zu berichtigen sein wird. Der Auszug des Okularkopfes D ist mit Theilung und Nonius zum bequemen Fokuseinstellen versehen. Das Okularmikrometer trägt ein festes Netz mit fünf Gruppen von je fünf Fäden und drei zu ersterem rechtwinkelig stehenden Gruppen von je zwei Fäden. Der bewegliche Faden lässt sich sammt Mikrometerschraube um 90° drehen. Die Mikrometerschraube ist mit 100theiliger Trommel versehen; eine Umdrehung entspricht nahe 40 Sekunden. Die ganzen Schraubenumdrehungen werden an einer Scheibe mit ziemlich grossen und kräftig markirten Intervallen abgelesen. Das Okular kann mittelst raschwirkender Schraube über das Gesichtsfeld hin bewegt werden.

Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes erfolgt ganz ähnlich der früher auf S. 394 näher beschriebenen Weise.

Der Aufsuchekreis E sitzt auf dem Axenhals fest und wird von der drehbaren, kreisförmigen Alhidade umschlossen, deren Verniers mittelst eines kleinen Fernrohrs G vom Okular aus abgelesen werden. Das Objektivrohr B wird durch das Gegengewicht C balancirt.

Die Okularhälfte der Axe hat drei in Griffen endende Arme H, welche vom Beobachter am Okular bequem gefasst werden können und zur groben Einstellung des Fernrohrs dienen. Vor den Griffen sitzt die Klemme J, welche zugleich die Feineinstellung des Fernrohrs vermittelt.

Auf der Kreishälfte der Axe ist eine zweite Klemme H_1 dreh- und feststellbar angebracht, welche einen in der Höhe mikrometrisch verstellbaren Lagerbock zur Aufnahme eines an beiden Enden gleich starken Stahlcylinders trägt, auf welchen eine sehr empfindliche Aufsatzlibelle K gestellt werden kann,

zum Beobachten in gleichen Höhen zu beiden Seiten des Zenithpunktes. (Horrebow-Talcott Methode.)

Die Träger M haben eine solche Höhe, dass das Fernrohr sich durchschlagen lässt, also auch Nadirbeobachtungen in einem darunter aufgestellten Quecksilberhorizont gestattet. Damit hierbei zugleich die Hängelibelle U abgelesen werden kann, ist das Fassungsrohr derselben so geschweift, dass es das senkrecht nach unten gerichtete Fernrohr nicht berührt. Zum bequemen Ablesen ist über dem Glasrohr ein Ablesespiegel angebracht.

Ausser den schon erwähnten Mikrometerwerken F und den beiden Ablesefernrohren G sind an den Trägern M noch die beiden ganz gleichartigen grossen Mikrometerwerke S und S_1 für die Feinbewegung der Fernrohraxe angebracht.

Der Kopf der mit nicht zu feinem Gewinde versehenen Mikrometerschrauben S u. S_1 wird von je einem Zahnrad gebildet, in welches ein längeres Trieb eingreift. Am Triebe sitzt ein Schlüssel mit doppeltem Gelenke, dessen Kopf so angeordnet ist, dass ihn die Hand des vor dem Fernrohrokular stehenden Beobachters bequem erfassen kann. Damit beim Umlegen der Fernrohraxe der Stahlschwanz der Klemme J sich sicher wieder zwischen die Mikrometerschraube und die gespannte Feder stellt und nicht durch Aufstossen der Klemme auf Theile des Mikrometerwerkes Schaden verursacht wird, sind schräge Führungsbacken angebracht, von welchen der eine fest, der andere beweglich ist. Durch einen an der einen Aushebungssäule befestigten Stift, welcher in eine Kurvenführung des beweglichen Backens tritt, wird beim Hochheben der Fernrohraxe und beim Niederlassen in der entgegengesetzten Lage dieser Backen entsprechend bewegt, so dass er gefahrlos und sicher das Ende der Klemme J in das Mikrometerwerk einführt.

Die Balancirungsvorrichtung der Fernrohraxe ist in unmittelbare Verbindung mit dem Umlegebock gebracht. Der Umlegemechanismus ist in der Weise angeordnet, Fig. 903, dass 90 cm unter der Kopfplatte des Steinpfeilers ein Kanal von 19 cm Breite und Höhe diametral durch denselben geht, in welchem ein fester Eisenrost angebracht ist. Dieser Rost dient dem plattenförmigen Fuss a der Aushebungswinde als sichere Unterlage. Auf der Fussplatte a ist die Welle b gelagert, auf welcher, genau in der Mitte des Pfeilers, eine Scheibe befestigt ist, deren Rand eine Spiralbahn von 45 mm Steigung auf die ganze Umdrehung bildet. Durch Umdrehen der Welle b vermittelst des Rades T, welches auf einer Schraube ohne Ende steckt und zunächst die Welle d bewegt, die durch Eingriff konischer Räder mit b verbunden ist, kann der Aushebungsbock um ungefähr 4 cm gehoben werden. Die Winde lässt sich behufs Reinigens und Ölens aus dem Steinpfeiler herausziehen. Um volle Symmetrie zu wahren, sind auf der der Winde entgegengesetzten Seite des Pfeilers die zusammengesetzten rohen Gussstücke, welche den grössten Theil ihrer Masse ausmachen, noch einmal eingefügt.

In der Längsaxe ist der Steinpfeiler bis zum Querkanal ausgehöhlt, so dass eine kräftige Eisenbüchse, welche mit dem Pfeilerkopf verbunden ist und bis nahe auf die Spiralscheibe niederragt, Raum hat. Die cylindrisch ausgedrehte Büchse dient zur Aufnahme des am Ende des Aushebungsbockes

befestigten Führungscylinders i. Im unteren Theile der Büchse schiebt sich ein kurzer Cylinder f, welcher gegen seitliche Drehung gesichert ist und unten eine Friktionsrolle trägt, gegen welche die Spiralscheibe C wirkt. Auf der oberen Endfläche des Cylinders f liegt in einer centrischen Vertiefung eine harte Stahlkugel, welche in eine Vertiefung des Führungscylinders i tritt und diesen mit dem Aushebungsbock zugleich hebt. Die Säulen S_2 und S_3 des Aushebungsbockes h enden in wiegenförmige Körper, Fig. 902,

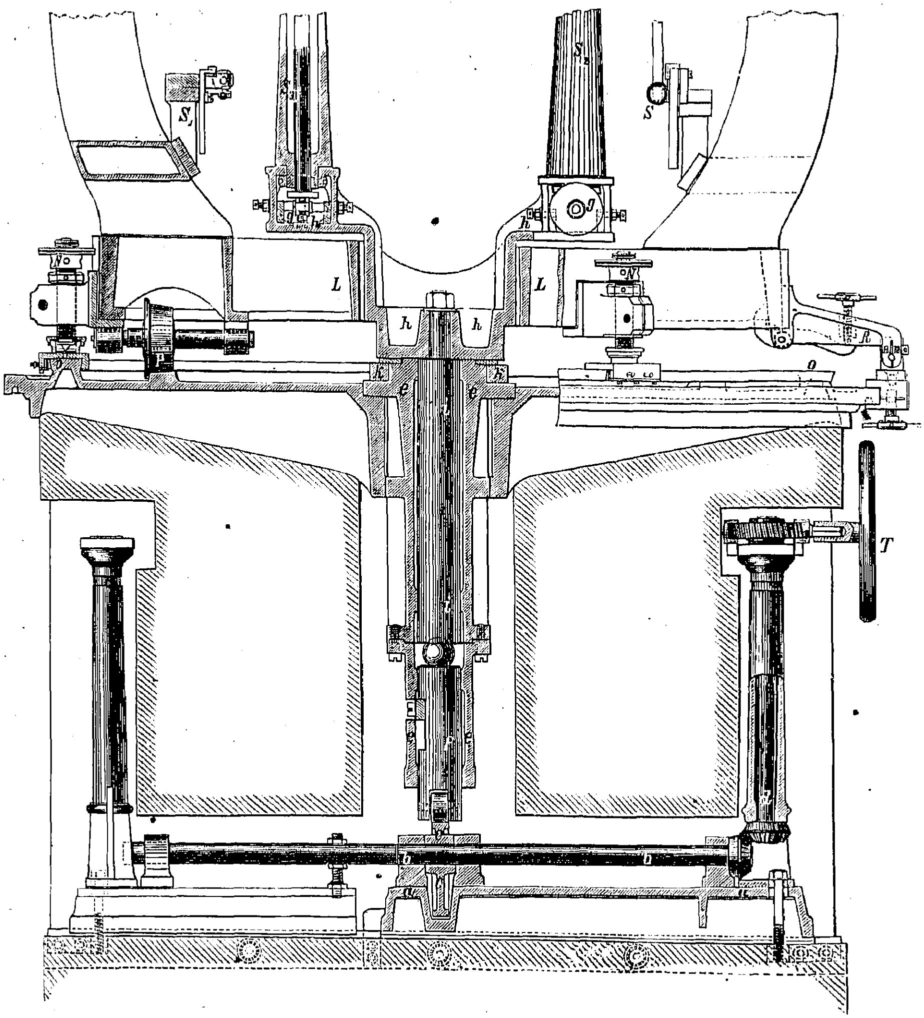


Fig. 903.

welche die Fernrohraxe aus den Lagern heben. Ist die Hebung vollständig ausgeführt, so werden Führungen frei, welche bis dahin eine Drehung des Bockes verhinderten, und es kann durch Anschläge begrenzt nun der Bock um 180° gedreht werden, so dass die Axenzapfen wieder genau über die Lager zu stehen kommen. Der untere Theil des Aushebungsbockes liegt gewöhnlich auf einem Ansatze des Pfeilerkopfes auf. In ihm kann der Quecksilberhorizont mit einem Dreifuss aufgestellt werden. Die Säulen S_2

und S_3 sind der Länge nach durchbohrt, in den Durchbohrungen schiebt sich je eine Stahlstange, welche oben in einer beweglichen Scheere mit zwei grossen, stählernen Friktionsrollen endet. In den Armen des Aushebungskörpers sind je zwei doppelarmige mit Schneiden und Gegengewichten g versehene Hebel gelagert, welche gegen die unteren Endflächen der Stahlstangen wirken und die Friktionsrollen mit solcher Kraft gegen die Fernrohraxe drücken, dass diese mit nur 8 kg Gewicht in den Lagern einliegt (vergl. Fig. 902).

Die Anschläge für das Umlegen der Axe befinden sich nicht am Instrumente, sondern am Pfeilerkopf und zwar auf einer Ringklemme k, welche centrisch auf demselben gedreht und festgeklemmt werden kann. Soll das Instrument in ein neues Azimuth übergeführt werden, so kann man weitergehend die Klemme mit dem Instrumentenfusse in Verbindung bringen, so dass sie an der Drehung Theil nimmt; nachdem sie in der neuen Lage festgestellt worden ist, werden die Anschläge für diese neue Lage wieder adjustirt sein. Die Träger V und V_1, Fig. 903, für die Hebel der Libellenbalancirung sind auf den Scheeren für die Friktionsrollen befestigt.

Der Azimuthalkreis musste eine besondere Einrichtung erhalten, da die Drehung des Instrumentes auf Rollen nicht mit solcher Präcision vor sich gehen kann wie auf einer festen Axe; es wurde deshalb folgende Einrichtung gewählt.

Ein Fernrohr W lässt sich mit seinem Stativ an dem Rande des Pfeilerkopfes festklemmen und durch eine Aufsatzlibelle nahezu horizontal stellen. Auf der Mitte des Instrumentenfusses L kann ein kleiner Azimuthalkreis mit Dreifuss und Stellschrauben befestigt und nach einer Libelle horizontirt werden; die Alhidade trägt zwei Nonien mit Ablesung auf einzelne Minuten; über dem einen Nonius ist ein rechtwinkliges Glasprisma befestigt, dessen eine Kathetenfläche vertikal steht. Mit der Alhidade ist ferner eine lange Klemme verbunden, welche in ein Mikrometerwerk des Fernrohrstativs eingreift und hier fein bewegt werden kann. Ist das Fernrohr auf unendliche Entfernungen eingestellt, und beleuchtet man das Fadenkreuz durch das Okular hindurch, so wird man das Fernrohr senkrecht auf die Kathetenfläche des Prismas stellen können, indem man das Fadenkreuz mit seinem reflektirten Bild zur Deckung bringt. Vor dem Objektiv des Fernrohrs W befindet sich eine zweite zur Seite zu schlagende Linse, deren Brennweite gleich ist ihrer Entfernung von der Theilfläche des Kreises, so dass man also, wenn man diese Linse vor das Objektiv bringt, die Theilung des Kreises durch das Glasprisma ablesen kann, ohne die Fokuseinstellung zu ändern. Da der Kreis an der Drehung des Fusses Theil nimmt, die Alhidade aber in Verbindung mit dem Ablesefernrohr W bleibt und die Abweichungen von der senkrechten Richtung auf die Kathetenfläche durch Korrektur an der Alhidadenklemme beseitigt werden können, so ist leicht einzusehen, wie man mit dieser Einrichtung die Ablesung des Azimuthalwinkels von dem Einfluss der Ortsveränderung der Axe frei erhalten kann. Zur Feinbewegung des Instrumentes im Azimuth kann eine Klaue R mit zwei gegen einander wirkenden Druckschrauben an beliebiger Stelle des Fussrandes angeklemmt werden; eine

Schleifklemme am Rande des Pfeilerkopfes trägt nach oben einen Ansatz, gegen welchen die Einstellschrauben wirken.

Zur genauen Bestimmung der Cylinderform der Axe dient ein Mikrometermikroskop, welches mit seinem Lagerbock an die Träger M so angesetzt und korrigirt werden kann, dass seine optische Axe mit der Horizontalaxe zusammenfällt.

Eine Mire, bestehend aus einem mit Diamant auf Glas gezogenen Kreise von ungefähr 0,3 mm Durchmesser, ist in der Ebene der Lagerung der Stahlcylinder in den Lagern im Innern der Axe befestigt und möglichst genau centrirt. Zur Bestimmung der Mikrometerwerthe des Mikroskopes ist neben der Mire noch eine feine Theilung in 0,2 mm auf die Glasplatte gezogen. Die Mire für den Cylinder auf der Okularseite der Axe ist in ein Rohr von gleichem Durchmesser und Gewicht wie der Okularauszug gefasst und wird an Stelle des Okularkopfes eingeschoben, wenn die Untersuchung vorgenommen werden soll. Aus der bekannten Lagerweite der Fernrohraxe und aus der gemessenen Veränderung der Lage der Mire beim Drehen um die Fernrohraxe wird man mit grosser Schärfe die aus der fehlerhaften Cylinderform hervorgehenden Abweichungen von der Visirebene in absolutem Maass bestimmen können. Um auch die unregelmässige Form der Miren unschädlich zu machen, sind diese sowohl, als auch das Mikroskop um seine optische Axe drehbar eingerichtet. Die Vergrösserung des Mikroskopes ist so abgestimmt, dass eine Verschiebung der Mire um ein Intervall der hunderttheiligen Trommel der Mikrometerschraube einer Lagenveränderung der Fernrohraxe von ungefähr 0,1 Sekunde entspricht. (Vergl. Kapitel Axen S. 288.)

c. Die Durchgangstheodolite von Repsold und Saegmüller.

Ein Instrument ganz ähnlicher Art, nur wie man wohl sagen kann erheblich verbessert und trotz Wahrung der Stabilität von wesentlich gefälligerem Äusseren ist das in Fig. 904 abgebildete, von Repsold mit dem Namen „Durchgangstheodolit" bezeichnete Instrument.

Auch bei diesem Instrument ruht auf einem starken, ringförmigen Unterbau 1 mit drei Fussschrauben, welcher zugleich einem getheilten Horizontalkreis als Auflager dient, das eigentliche Durchgangsinstrument. Mit dem Unterbau ist central die sehr stark gearbeitete Büchse 2 für eine Vertikalaxe verbunden, und mit dieser steht wieder das Hebelwerk 3 für die Umlegung der Horizontalaxe in ihren Lagern in Verbindung. Das Gestell für den Oberbau besteht ebenfalls aus einem durch ein Gitterwerk verstärkten Ring 4, mit welchem die beiden Lagerständer 5 aus einem Stücke gegossen sind. Dieser Ring trägt an zwei diametralen Stellen die beiden Ablesemikroskope 6, 6 mittelst korrigirbar angeschraubter Bügel. Eine breite Metallplatte, welche sich von Lagerständer zu Lagerständer erstreckt, verstärkt noch den Bau des Obertheiles. Auf derselben befinden sich die Anschläge 7, 7 für den Umlegebock, der seine Führung zum Theil in der Büchse 2, zum Theil in dem die Mitte der Brücke 8 einnehmenden cylindrischen Aufsatze 9 hat. Die Umlegevorrichtung ist die bei den Repsold'schen Instrumenten ähnlicher Art

gebräuchliche. Sie besteht ausser dem centralen Zapfen aus dem starken Balken 10; auf beiden Enden desselben stehen die hohen Ständer 11 für die Führung der Friktionsrollenträger. Dieselben sind unten nach innen zu ausgeschnitten, um den Enden der in ihrer Mitte auf einer Schneide aufruhenden wagebalkenähnlichen Feder unter 12 Durchlass zu gewähren. Auf deren Enden ruhen die Führungsstifte der Friktionsrollen auf, so einen völligen Ausgleich der beiderseitigen Äquilibrirung herbeiführend. Da diese Unterstützung sehr nahe den Lagern stattfindet und also vornehmlich zur Entlastung derselben bestimmt ist, dagegen eine eventuelle Durchbiegung der

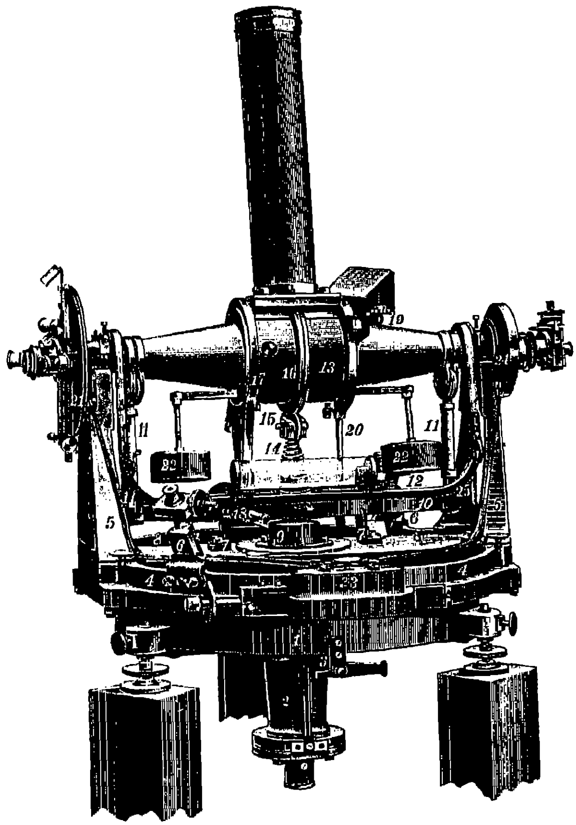


Fig. 904.

Horizontalaxe dadurch nicht verhindert wird, ist auch die gewiss sehr zweckmässige Neuerung eingeführt, dass dem bisher meist würfelförmig gestalteten Mittelstück 13 der Axe zum grössten Theil, soweit es nicht zur Aufnahme des Objektivendes des Fernrohres plan gearbeitet sein muss, auch eine cylindrische Gestalt gegeben wurde. Es ist dadurch möglich geworden, mittelst einer starken Feder 14, welche ihren Stützpunkt genau über der Schneide der Feder 12 hat, und welche an ihrem oberen Ende gegen zwei Friktionsrollen bei 15 drückt, die Axe in ihrer Mitte für alle Lagen des Instrumentes gleich sicher zu unterstützen. Die ringförmige Leiste 16 dient diesen Rollen als Führung.

Auf der Axe sind aufgesetzt, dicht neben dem Mittelstück, um jede Torsion

zu vermeiden, auf der einen Seite die Klemme 17 mit Feinbewegung, deren Stützpunkt am Umlegebock bei 18 sich befindet, auf der anderen Seite der Ring für das Horrebow-Niveau, welcher an stärkerer Bewegung durch die Stange 20 verhindert wird.

In dem Niveaukasten selbst liegen zwei parallele Libellen zu gegenseitiger Kontrole, die vom Okular aus durch einen geneigten Spiegel ablesbar sind. Der Aufsuchekreis 21 ist auf dem dem Okular entgegengesetzten

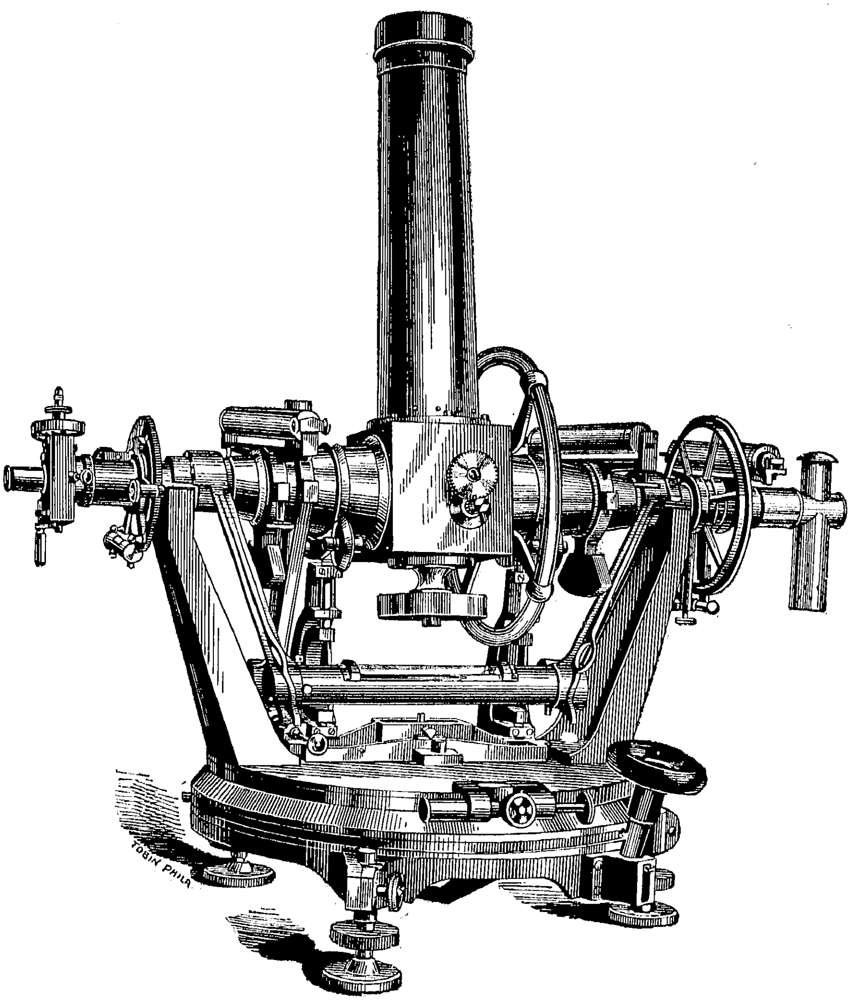


Fig. 905.

Ende der Axe angebracht. Er hat die häufig gebrauchte Einrichtung und ist mittelst zweier Nonien mit Lupen ablesbar. Die Beleuchtungslampe hängt, wie bei dem schon früher beschriebenen Repsold'schen Instrument, an einem besonderen Bogen, welcher mittelst einer Gabel über den betreffenden Ständer der Umlegevorrichtung gesteckt werden kann, in der Figur aber weggelassen ist. Die Gegengewichte 22, 22 haben die bei den Repsold'schen Instrumenten gebräuchliche Form und Anordnung. Das Okular ist mit einem automatisch

registrirenden Mikrometer versehen und so eingerichtet, dass der bewegliche Faden sowohl senkrecht als auch parallel zur täglichen Bewegung der Gestirne gestellt werden kann.[1])

Die zur Registrirung nöthigen Leitungsdrähte führen von einem Umschalter bei 23 aus an den Lagerständern empor und dort zu zwei Schleifkontakten, welche durch Vermittlung zweier Platinringe 24 die Verbindung mit dem Mikrometer in beiden Lagen des Instrumentes herstellen. Das Axenniveau 25 ist in seiner Anordnung schon früher beschrieben. Auch die übrigen Einzelheiten bieten nichts Neues dar, im Ganzen aber kann dieses Instrument wohl als das vollkommenste seiner Art bezüglich der Symmetrie der Anordnung und Präcision der Gesammtausführung betrachtet werden.

Ein nach ganz ähnlichen Principien, aber etwas einfacher eingerichtetes Durchgangsinstrument ist in den letzten Jahren von Saegmüller in Washington gebaut worden und soll hier noch kurz beschrieben werden.

Das Instrument, Fig. 905, ist ganz aus Stahl, und alle Lagertheile sind gehärtet. Das Gesammtgewicht beträgt nur 90 Pfund. Der Untertheil wird von einem starken Kreise mit 3 Fussschrauben gebildet, welcher zugleich einen Horizontalkreis trägt. Eine diesen ganz verdeckende Scheibe (bis auf die Nonienausschnitte) trägt die beiden nach aussen ausladenden Lagerböcke. Dadurch kann der Horizontalaxe eine grössere Länge gegeben werden, was wohl bezüglich der Zapfenfehler von Vortheil, in anderer Hinsicht aber bedenklich sein dürfte. Die Axe, wie gewöhnlich aus zwei Konen bestehend, welche in ihrer Mitte den Kubus aufnehmen, trägt an ihrem einen Ende das Okular und am anderen Ende die Beleuchtungsvorrichtung. Auf der Axe ist nahe dem Okular ein kleiner Aufsuchekreis, sodann auf jedem der konischen Axentheile je ein empfindliches Niveau für Beobachtungen nach der Horrebow-Talcott'schen Methode angebracht, und weiterhin am anderen Axenende ausserhalb des Axenbockes ein etwas grösserer Kreis mit empfindlichem Niveau zur genaueren Messung von Zenithdistanzen. Nahe dem Kubus, auf welchem das Objektivende aufgeschraubt ist, und dem gegenüber sich ein scheibenartiges Gegengewicht befindet, trägt die Axe noch einen auf 4 Speichen befestigten Ring, welcher zur bequemen Bewegung in Zenithdistanz dient.

Von besonderem Interesse dürfte die Einrichtung des Umlegebockes und die damit verbundene Äquilibrirung sein. Der Obertheil des Instruments kann, wie üblich, mittelst eines einfachen Hebels, dessen kürzeres Ende durch eine in der Figur sichtbare Schraube niedergedrückt wird, gehoben werden. Auf dem centralen Theile des Umlegebockes ruht wie bei den neueren Bamberg'schen und Repsold'schen Instrumenten auf einer Schneide ein in Höhe verstellbarer gleicharmiger Waagebalken, auf dessen beiden Enden die Stützen je zweier Friktionsrollen aufgesetzt sind. Jene, sowie die Ständer des Umlegebockes sind in ihrem unteren Theile ausgebogen (wie Fig. 905 leicht erkennen lässt) und gewähren so Raum für das auf der Axe hängende

[1]) Neuerdings ist dieses Instrument sowohl als auch andere Durchgangsinstrumente mit einem Mikrometer versehen worden, welches ein besonderes, bewegliches Deklinationsfädensystem besitzt (vergl. Mikrometer).

Niveau. Auch die Klemmvorrichtung ist so angeordnet, dass sie die freie Aufhängung der Libelle nicht beeinträchtigt. Wenn die Letztere auf diese Weise auch nicht genau senkrecht unter die Axe zu liegen kommt (es sind zur Fixirung ihrer Lage zwei kleine Gegengewichte daran angebracht), so ist doch jede Berührung derselben mit dem Instrumente abgesehen von ihren Lagerpunkten vermieden, was ich als einen Vortheil bezeichnen zu müssen glaube; obgleich die etwas komplicirtere Form der Äquilibrirung vielleicht Bedenken erregen könnte.

Der Erbauer des Instruments hat Sorge getragen, dass ausser dem mikrometrischen Okular an das Okularende auch eine photographische Kamera angesetzt werden kann. Auf diese Weise glaubte derselbe, dass während die Bahn der Sterne bei der Beobachtung von Zenithdistanzdifferenzen sich auf der photographischen Platte aufzeichnete, gleichzeitig die Niveaus abgelesen werden könnten und so ein zeitlich genaues Zusammenfallen beider Beobachtungsdaten erzielt werde. Es dürfte jedoch fraglich sein, ob durch die Einführung der erst durch sorgfältige Messungen weiter zu verwerthenden photographischen Aufnahmen eine der grösseren Komplikation entsprechend gesteigerte Genauigkeit erlangt wird; denn sollte während der Aufzeichnung der Sternspur die Blase des Niveaus sich thatsächlich nicht in Ruhe befinden, so wird auch die gleichzeitige Ablesung desselben nicht der momentanen Neigung seiner Axe entsprechen (vergl. auch Zenithteleskope).

C. Durchgangsinstrumente mit Prisma vor dem Objektiv.

Steinheil in München hat, veranlasst durch eine Bemerkung des englischen Astronomen Marth,[1]) den Vorschlag gemacht, Passageninstrumente und Meridiankreise so zu bauen, dass das ganze Fernrohr in die Axe zu liegen kommt, somit der Umstand, dass das Fernrohr aus drei Theilen besteht, ganz vermieden wird. Er setzte das Prisma vor das Objektiv und konnte dadurch seine Absicht realisiren, das ganze Instrument mit einziger Ausnahme des Prismas als einen ganz symmetrischen Rotationskörper herzustellen. Steinheil selbst erläutert das Princip in Carl's Repertorium der Exp. Physik Bd. I, S. 147 und in den Sitzungsberichten d. K. b. Akademie der Wissenschaften, München 1864, Bd. I, S. 1 ff. Nach einer genauen Auseinandersetzung der möglichen Fehlerquellen der Durchgangsinstrumente überhaupt und sodann der vorgeschlagenen Konstruktion im Besonderen, welche sich namentlich auf die Kontrole der Fehler der Autokollimation des Fadennetzes an den beiden Kathetenflächen des Prismas bezieht, geht Steinheil zur Beschreibung eines demgemäss gebauten Instrumentes über.[2]) In der schematischen Fig. 906 ist r, r das mit seiner optischen Axe in der Ost-West Richtung gelegene Fernrohr, welches bei i das Objektiv und bei f die Fadenplatte trägt. Vor dem Objektiv ist das rechtwinklige Prisma so angebracht, dass es mit der einen Kathetenfläche dem Objektiv zugewandt ist, während die andere als

[1]) Vergl. Astron. Nachr., Bd. 57, S. 257 und Bd. 57, S. 351.

[2]) Die erste Idee zu diesem Instrument findet sich übrigens, wenn auch in sehr viel anders gestalteter Ausführung, in einem Aufsatze von A. v. Steinheil in den Abhandlungen zu „Schumachers Astron. Jahrbuche“ für 1844, S. 3. Dort handelt es sich übrigens um einen katoptrischen Meridiankreis, auf den wir später noch kurz zu sprechen kommen.

Fernrohröffnung dient. Bei Drehung des Fernrohres um seine optische Axe wird also die Normale zur zweiten Kathetenfläche (bei vollständig berichtigtem Instrument) die Ebene des Meridians beschreiben. Die von den Sternen kommenden Strahlen werden also bei deren Meridiandurchgang nach Reflexion an der Hypothenusenfläche sich längs der Fernrohraxe fortpflanzen und in der Ebene der Fadenplatte ein Bild erzeugen. Dieses Letztere wird durch das mikroskopische Okular bei c während seines Durchganges beobachtet. Das Okular c ist auf eine der Seitenwände bb des Aufstellungsraumes in der Platte pp aufgeschraubt. Die Wand bb ist isolirt von Beobachter und Instrument durchgeführt, so dass der Erstere sich in einem vom Aufstellungsplatze des Instrumentes völlig getrennten Raum befindet. Dadurch soll jeder Einfluss der Körperwärme u. s. w. auf das Instrument vermieden werden. Auch die Ablesung am Einstellungskreise h wird durch das ebenfalls in die Wand eingelassene Mikroskop vermittelt; die Drehung des Instruments kann durch lange Schlüssel, welche die Wand bei e durchsetzen, bewirkt werden.

Das Fernrohr ist abgesehen von dem Prisma am Okular- und Objektiv-

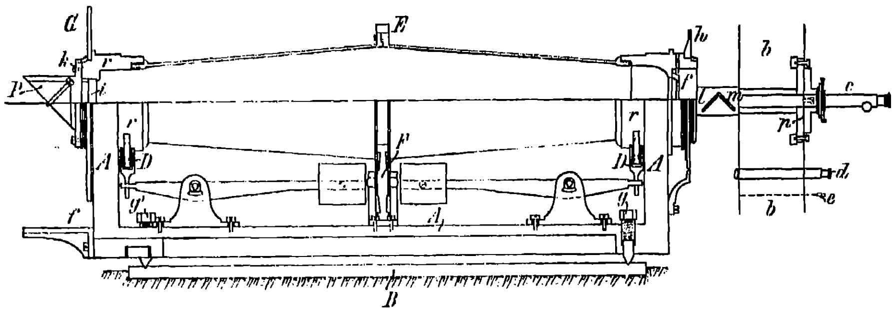


Fig. 906.

ende fast völlig gleich gebaut. Es ruht mit den nach ganz gleichem Durchmesser abgedrehten Ringen rr in den Lagern AA auf. Die Lagerflächen bilden einen Winkel von 90^0 und tragen an den Berührungsstellen polirte Steinplättchen. Das die beiden Lager verbindende starke Mittelstück wird durch drei senkrechte Schrauben g g′ in der Weise durchsetzt, dass sich dasselbe um g um einen geringen Winkel drehen lässt.

Ein wesentlicher Punkt in der Konstruktion dieses Instrumentes ist der, dass eine Biegung der optischen Axe unmöglich gemacht ist, und zwar dadurch, dass sich sowohl Objektiv als Fadenplatte in den Höhlungen der Ringe rr befinden, mit welchen das Instrument in seinen Lagern aufliegt. Um diese Letztere nicht zu stark zu beanspruchen, befinden sich unterhalb des unteren Theiles dieser Ringe zwei Bügel DD mit Friktionsrollen, welche durch je einen Hebel mit Gegengewicht die Lager entlasten. Auf der zur Verbindung der beiden Hälften des Fernrohres dienenden Flansch sitzt bei E ein gezähnter Reifen, in welchen das seitlich angebrachte Zahnrad F eingreift und die vom Schlüssel e bewirkte Drehung auf Erstere überträgt. Auf das Objektivende ist noch die kreisrunde Glasscheibe G aufgesetzt,

diese trägt auf der dem Okular zugewandten Seite die feine Theilung zur Messung der Zenithdistanzen; ihre Ablesung erfolgt durch zwei diametral auf den Lagerböcken aufruhende lange Mikroskope, welche ebenfalls die Scheidewand bb durchsetzen und an ihren Enden Schraubenmikrometer tragen. Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes des Fernrohrs sowohl als diejenige der Mikroskope geschieht durch zwei durchbrochene und um 45° gegen die optische Axe geneigte Spiegel l und m, auf welche das Licht einer ebenfalls im Beobachtungsraum befindlichen Lampe nach vorheriger Reflexion fällt. Das Fadennetz wird auf diese Weise vermittelst vier kleiner Prismen von vorne beleuchtet, so dass die Fäden hell im dunklen Felde erscheinen. Da der Hauptheil des Instrumentes, abgesehen vom Prisma, einen vollkommenen Rotationskörper darstellt, so lässt es sich ganz in schlechte Wärmeleiter (Wolle, Watte oder dergl.) einhüllen, ohne dass seine Drehung behindert würde; was Steinheil als einen Hauptvorzug bezeichnet, wegen der dadurch ermöglichten Abhaltung störender Temperatureinflüsse.

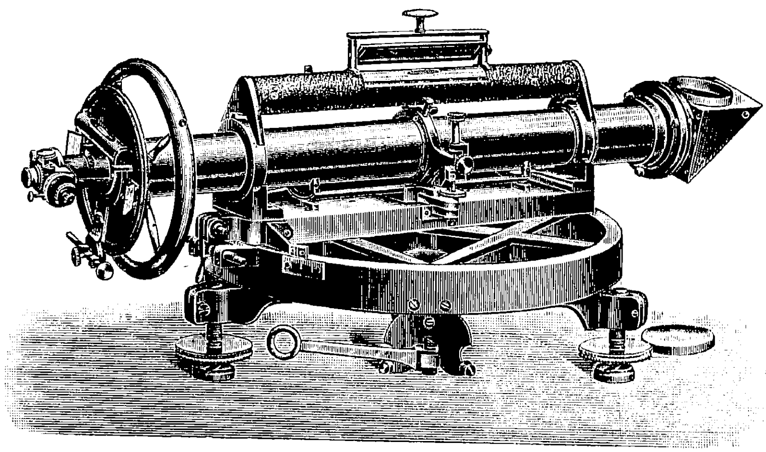


Fig. 907.

Ein Meridiankreis in dieser Form ist meines Wissens nie ausgeführt worden, wohl aber eine grössere Reihe von transportablen Passageninstrumenten. Das älteste derartige Instrument dürfte ein auf der K. K. Sternwarte zu Wien befindliches sein, welches noch zum Theil die in dem Jahre 1844 von Steinheil angegebene Konstruktion hat. Später wurde auf Veranlassung von Prof. C. Bruhns in Leipzig ein solches Instrument von August Lingke in Freiburg für die Leipziger Sternwarte gebaut, welches aber sehr bedeutende Mängel aufwies, die sich allerdings zum Theil hätten beseitigen lassen.

Fig. 907 stellt dieses Instrument dar.[1]) Der Hauptfehler desselben ist die überaus starke Ausladung des Okular- und namentlich des schweren Objektivsystems mit Prisma. Dadurch wird natürlich eine mit den verschiedenen Zenithdistanzen wechselnde Biegung und Veränderlichkeit des

[1]) Die Figur ist nach einer Photographie geschnitten, welche Prof. H. Bruns die Güte hatte, zu diesem Zwecke anfertigen zu lassen.

Kollimationsfehlers erzeugt. Es sind dieses gerade die Fehler, welche STEINHEIL vermeiden wollte, indem er Fadenplatte und Objektiv in diejenigen Querschnitte des Rohres verlegte, in welchen es mit seinen Zapfenringen in den Lagern auflag. Was bei der Bruhns'schen Konstruktion gerade übersehen wurde zu Gunsten einer kompendiösen Form des Untergestells.

Ein Instrument ähnlicher Art, nur weit einfacher und stabiler ausgeführt, zeigt die Fig. 908; es wurde von SAEGMÜLLER gebaut. Es dürften nach dem Vorhergehenden wenige Worte zur Erläuterung genügen. Das ausserordentlich schwere Untertheil A ist wieder den älteren Pistor'- und Martins'schen Instrumenten ähnlich. B ist ein Ständer, der durch den Hebel e in Thätigkeit zu setzenden Umlegevorrichtung. Das Fernrohr von $2^1/_2$ Zoll freier Öffnung ruht auf zwei Zapfenringen von Phosphor-Bronce, welche sich in einer solchen Entfernung von Okular und Objektiv befinden, dass die möglichst geringste

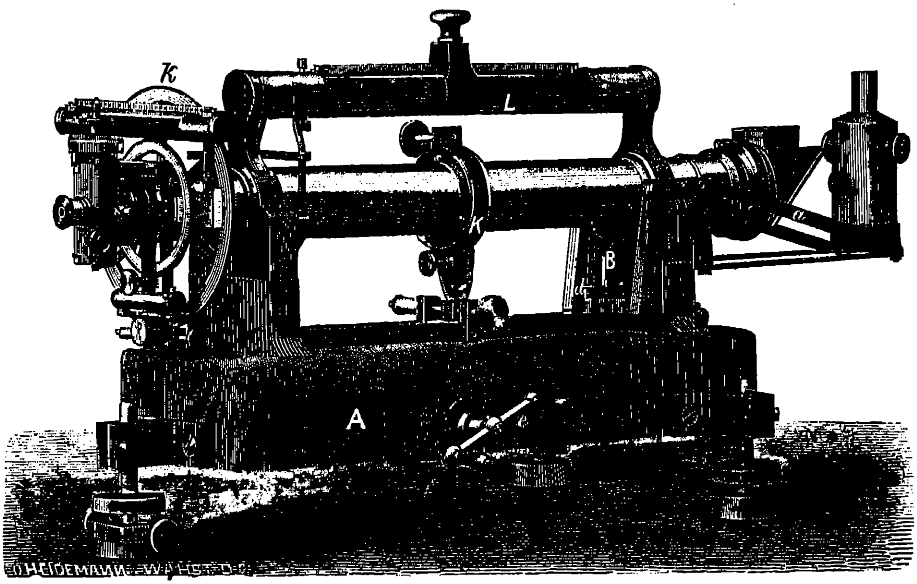


Fig. 908.

Durchbiegung entsteht, aber ausserdem sind diese Ringe noch unter sich durch ein besonderes Rohr verbunden, welches durch seine Stärke die Möglichkeit einer Biegung noch erheblich verringert. Die Umlegevorrichtung trägt bei d das Gestell a für die Beleuchtungslampe. Die Libelle L kann beim Umlegen ohne Gefahr stehen bleiben. Die Klemme K ist eine Ringklemme, welche für diese Zwecke gewiss am einwurfsfreiesten wirkt. Sie hat ihren Stützpunkt mit der Feinbewegung am Umlegebock und braucht also nicht gelöst zu werden. Etwas abweichend von der gewöhnlichen Form ist der Aufsuchekreis k gestaltet, um die Einstellung der Gestirne möglichst zu erleichtern. Auf dem einen Nonienträger ist ein empfindliches Niveau angebracht, um das Instrument nach Drehung des Okularstutzens um 90° auch für Breitenbestimmung nach der Horrebow-Talcott'schen Methode gebrauchen zu können.

Für kleinere Instrumente zu Reisezwecken hat man, wie oben schon erwähnt, mehrfach die Vortheile der hier in Rede stehenden Konstruktion ausgenutzt und dadurch sehr kompendiöse Universalinstrumente hergestellt. (Vergl. S. 816.)

D. Durchgangsinstrumente mit Uhrbewegung.

Bevor wir zur Besprechung der Meridiankreise übergehen, mag noch einiger Vorschläge gedacht werden, welche im Laufe der Zeit von verschiedenen Seiten gemacht wurden, um bestimmte instrumentale oder physiologische Beobachtungsfehler genau zu bestimmen oder unschädlich zu machen. Dahin gehört vor allem der Vorschlag von J. Braun, ehemaligem Direktor des Observatoriums zu Kalosca, welcher dadurch, dass er vermittelst eines komplicirten, von einem Uhrwerk getriebenen Apparates einen im Mikrometer des Durchgangsinstrumentes befindlichen Vertikalfaden derart in Bewegung setzte, dass er einmal auf einen Stern beliebiger Deklination pointirt auch während der Zeit des Durchgangs desselben durch das Gesichtsfeld mit demselben in Koincidenz bleibt. Da dieses für alle Deklinationen der Fall sein sollte, war es aber nöthig, dem Triebwerk eine so komplicirte Einrichtung zu geben, dass von demselben eine Bewegungsgeschwindigkeit der Fäden in sehr weiten Grenzen hervorgebracht werden konnte.[1]) Es wird dadurch bewirkt, dass an Stelle der Durchgangsbeobachtungen ein Pointiren auf einen relativ unbeweglichen Stern tritt. Die den Durchgangsbeobachtungen eigenthümlichen Fehler, welche im Allgemeinen unter dem Namen der „persönlichen Gleichung“ bekannt sind, sollen dadurch vermieden werden, dass bei bestimmten Stellungen der mit einem grossen Trommelkopfe versehenen Mikrometerschraube ein elektrisches Signal auf dem Chronographen hervorgebracht wird. Die Orte des Vertikalfadens für die Zeiten der Signale werden dann z. B. gegen einen festen Mittelfaden dadurch in Beziehung gebracht, dass man auf der Schraubentrommel auch diejenigen Stellen abliest, welche die Koincidenz des beweglichen Fadens mit dem festen Mittelfaden bezeichnen.

Da der Apparat, wie erwähnt, sehr komplicirter Natur ist, hat er eine Ausführung in der Praxis nicht gefunden,[2]) aber die Idee ist doch die Anregung gewesen zu einigen anderen Vorschlägen, welche in neuerer Zeit von der Repsold'schen Werkstätte ausgegangen sind und von denen der zweite sich sehr gut bewährt hat. Der erste Vorschlag Dr. J. Repsold's bestand darin,[3]) dass er die Pfeiler ähnlich denen der englischen Instrumente ganz aus

---

[1]) Die scheinbare Geschwindigkeit eines Sternes beim Durchgang durch das Gesichtsfeld eines ruhenden Fernrohrs ist bekanntlich umgekehrt proportional der Sekante der Deklination des Gestirnes. Um den Apparat zu vereinfachen hat Braun später nur Sterne bis zu 60° Deklination in Betracht gezogen, für welche eine Veränderung der Geschwindigkeit nur im Verhältniss von 1:2 gefordert wird.

[2]) Ich möchte hier auch von einer weiteren Beschreibung und Abbildung dieses Apparates absehen, da die erste ziemlich umfangreich und die Figur viel Platz beanspruchen würde. Ich verweise deshalb auf die Original-Abhandlung im Bericht des Erzbisch. Haynald'schen Observatoriums zu Kalosca in Ungarn etc. Münster 1886, S. 163, sowie auf das Referat in Zschr. f. Instrkde., 1887, S. 249.

[3]) Astron. Nachr., Bd. 118, S. 305.

Eisen auf einer gemeinsamen Unterlage ruhend herstellen wollte, welche so geformt werden sollte, dass sie in der Meridianebene und in der Richtung zum Pol zwei kräftige Endzapfen erhalten können. Diese Zapfen, welche in zwei festen Lagern auf dem Mauerwerk ruhen, gestatten dem ganzen Instrument eine beschränkte Bewegung im Stundenwinkel, und wenn man es durch ein Uhrwerk in der Richtung der täglichen Bewegung nachführt, so passt diese ohne weiteres für alle Deklinationen.

Wird diese Bewegung durch eine feingeschnittene Schraube vermittelt, so kann an dieser eine Kontaktvorrichtung so angebracht werden, dass der Moment, in welchem eine sehr empfindliche Libelle die Horizontalität der Horizontalaxe anzeigt, der Registrirstrom geschlossen wird. Die eigentliche Beobachtung hätte dann in der Weise zu geschehen, dass man zunächst nach Auslösung des Uhrwerks das Instrument durch die Schraube dem zu beobachtenden Stern auf ein annähernd bestimmtes Maass (etwa 2 Zeitminuten) entgegen führt. Nachdem das Uhrwerk wieder mit der Schraube verbunden worden ist, setzt man es in Gang, sobald der Stern nahezu in die Mitte des Gesichtsfeldes gelangt ist. Die genaue Einstellung des Sterns geschieht dann während der Fortbewegung des Instruments, die ihn stillstehend erscheinen lässt, mit dem Mikrometerfaden, am besten um die Zeit des wahren Meridiandurchganges oder mehrere Male vorher und nachher. In dem Augenblick aber, in dem das Fernrohr durch den Meridian geht, kommt, in Folge der vorher ausgeführten Einstellung, der Kontakt des Schraubenkopfs zur Berührung und veranlasst ein Zeichen am Chronographen, welches offenbar frei vom persönlichen Zeitfehler ist.

Anstatt des beseitigten Fehlers tritt freilich ein neuer auf in der Beziehung zwischen Niveau und Kontakt, welche durch Ablesungen des Schraubenkopfes vermittelt wird. Da indess der Letztere beliebig gross angenommen werden kann, so wird sich die Lage der daran befindlichen Kontakte mit aller wünschenswerthen Genauigkeit feststellen lassen.

An das Uhrwerk werden keine ungewöhnlichen Anforderungen gestellt, auch nicht an die Schraube.

Später hat Repsold den ganzen Mechanismus durch eine Bewegung ersetzt, welche der Beobachter selbst dem beweglichen Vertikalfaden zu ertheilen vermag, falls die Mikrometerschraube in geeigneter Weise eingerichtet wird. In einem ersten Aufsatz bemerkt Dr. J. Repsold über den Vorgang der Beobachtung etwa Folgendes, indem er zugleich eine Reihe an einem Modell ausgeführter Versuche mittheilt.[1]) Das Fernrohr braucht nur mit einem beweglichen und einem festen Vertikalfaden als Anhalt für den Nullpunkt des Mikrometers versehen zu sein. Die Schraubentrommel soll neben der gewöhnlichen Theilung noch eine Reihe von isolirten Metalleinlagen tragen, welche an einer Feder vorbeigleitend die Kontakte bei den betreffenden Schraubenstellungen vermitteln; die Zeiten des Stromschlusses sollen möglichst kurz sein, also die Metalllamellen schmal, doch ist an und für sich die Dauer des Stromschlusses ohne Belang, da nur immer der Beginn oder bei Ruhestrom

[1]) Astron. Nachr., Bd. 123, S. 177.

die Öffnung desselben registrirt wird. Damit man später die den einzelnen Kontakten zugehörigen Signale auf dem Chronographen unterscheiden kann, werden die ersteren nicht gleichförmig über die Peripherie der Trommel vertheilt, sondern in ungleichen Intervallen angebracht.

Bei dieser Einrichtung des Mikrometers wird der Beobachter im Stande sein, die Fortbewegung des Fadens mit dem zu beobachtenden Stern selbst zu übernehmen, Uhrwerk und Äquatorealbewegung also entbehrlich machen. Er kann, da das Okular selbstthätig während des Durchgangs mitgeht, seine ganze Aufmerksamkeit auf diesen verwenden und hat beide Hände für die Mikrometerschraube zur Verfügung, deren ununterbrochene, gleichmässige Bewegung in Übereinstimmung mit dem Gange des Sterns durch das wechselweise Nachfassen der beiden Hände sehr erleichtert wird. Bei Meridiankreisen ist freilich noch für Einstellung des Sterns auf den Horizontalfaden oder Einstellung eines Mikrometerfadens für Deklinationen auf den Stern zu sorgen; dafür ist aber Zeit genug, da die eigentliche Durchgangsbeobachtung nur kurze Zeit in Anspruch nimmt. Denn man kann auf einen Umgang der Durchgangs-Mikrometerschraube so viele Kontakte anordnen, dass man schon nach einigen Umgängen eine ausreichende Anzahl erhält, um die zufälligen Fehler in der Bewegung unschädlich zu machen.

Fig. 72 zeigt die ältere Form des Repsold'schen Passagenmikrometers an einem Bamberg'schen Durchgangsinstrumente.

Eine erhebliche Verbesserung dieses Mikrometers ist in Fig. 909[1]) dargestellt. Bei ihr ist Sorge getragen, dass die beiden Handscheiben trotz der mit der Höhe des Sterns wechselnden Lage des Mikrometers stets die gleiche Richtung behalten können, da eine wechselnde Stellung zu Bedenken Anlass gab und unbequem gefunden wurde. Das Zwischenrad, welches sowohl die Mikrometerschraube, als auch die Fortführungsschraube des Okulars treibt, ist hier mit einem konischen Rad (hinter 9) versehen, welches durch Vermittlung eines koncentrisch zur Fernrohraxe umlaufenden zweiseitig gezahnten Rades (1) mit den Rädern der beiden Handscheiben in Verbindung steht. Die Drehungszapfen der beiden Handscheiben sind an einem Ring (2) befestigt, der ebenfalls um die Fernrohraxe drehbar ist und durch eine Klemmschraube (3) leicht festgestellt werden kann. Man ist dadurch in den Stand gesetzt, bei jeder Stellung des Fernrohrs den Handscheiben immer dieselbe für beide Hände möglichst bequeme Lage zu geben.

Man sieht in der Figur die 100th. Trommel (4), die Indexfeder (5), dahinter, fast verdeckt, die Kontaktscheibe und die Zählscheibe der Umgänge, das Zwischenrad (6), welches gleichzeitig die Mikrometerschraube und die Fortführungsschraube des Okulars (beide $1^R =$ ca. $85''$) treibt und mit dem Trieb (7) zum Zählscheibenrad ein Stück bildet. Der elektrische Strom wird im Innern der Fernrohraxe bis in einen Schraubenkopf (8) geleitet und weiter durch einen Federbügel (9) zur Kontakt- und Indexfeder. Bügel und Schraube sind nur mit Federung auf einander gehalten, weil das Mikrometergehäuse

---

[1]) Die nachfolgenden Erläuterungen sowie die Figur sind aus Astron. Nachr. Bd. 141 S. 284 ff. mit Bewilligung der Herren Repsold entnommen.

an der Axe um 90° drehbar ist, um auch für Höhenmessungen (bei Anwendung der Horrebow-Methode) verwendbar zu sein. Eine aus der grossen Erfahrung des Herrn Prof. ALBRECHT hervorgegangene Vereinfachung des Beobachtens mit diesen Passagenmikrometern beruht darauf, dass nicht nur während der Durchgänge der Polsterne das Instrument umgelegt wird, sondern auch während der Zeitsterne, und dass dann in beiden Lagen dieselben Schraubenstellungen resp. dieselben Kontakte benutzt werden können. Dadurch wird nicht nur ein eventueller Fehler der Schraube, sondern auch der Kollimationsfehler eliminirt und eine Vereinfachung der Neigungsbestimmung hervorgebracht, indem das Niveau an der Axe hängen bleibt. Es hat sich bei so ausgeführten Beobachtungen[1]) herausgestellt, dass viel eher eine Nullpunktänderung des Niveaus als eine durch das Umlegen veranlasste

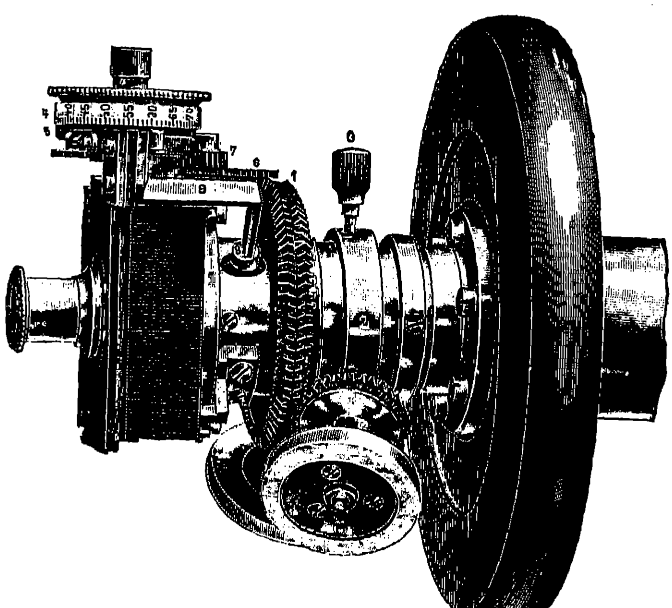


Fig. 909.

Änderung des Azimuths zu befürchten ist und somit das häufige Umlegen keinerlei Gefahr mit sich bringt. In der That ist die Genauigkeit, welche von geübten Beobachtern mit diesem Registrir-Passagenmikrometer in der Bestimmung der Uhrstände und damit in der der Längendifferenzen erlangt worden ist, ganz ausserordentlich. Schon der Durchgang eines einzelnen Sternes ergiebt häufig für den daraus gefolgerten Uhrstand nur einen mittleren Fehler von circa $\pm 0\overset{s}{.}02$.

E. Durchgangsinstrumente mit photochronographischer Einrichtung.

Nachdem in den letzten 10 Jahren die Photographie sich in der astronomischen Beobachtungskunst ein so grosses Gebiet errungen hat, kann es nicht verwundern, dass mehrfache Versuche gemacht worden sind, die

[1]) Jahresberichte des Kgl. Geodätischen Institutes 1891/92; 1892/93.

persönlichen, physiologischen Fehlerquellen bei Sterndurchgängen durch die Fixirung dieser auf lichtempfindliche Platten zu eliminiren. Von mehrfachen dahin gehörigen Versuchen mag hier nur der, welcher zu wirklichen Resultaten geführt hat, erwähnt und das dazu benutzte Instrument beschrieben werden. Es sind dieses die auf der Sternwarte des Georgetown-College namentlich unter Leitung des Pater Hagen S. J. und Prof. Fargis S. J. angestellten Versuche und Aufnahmen von Sterndurchgängen mit einem dort aufgestellten „Photochronographen.[1])

Um das zu den Durchgangsbeobachtungen benutzte Fernrohr ist unweit des Okulars ein Messingring A gelegt, Fig. 910a u. 910b, der, um leicht angebracht und abgenommen werden zu können, aus zwei um ein Scharnier drehbaren Hälften besteht, welche das Fernrohr umfassen und mit einander verschraubt werden. Dieser Ring trägt einen Elektromagneten E, welcher jede Sekunde

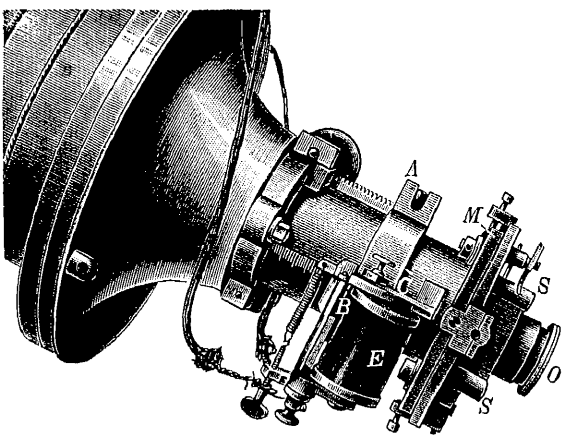


Fig. 910 a.

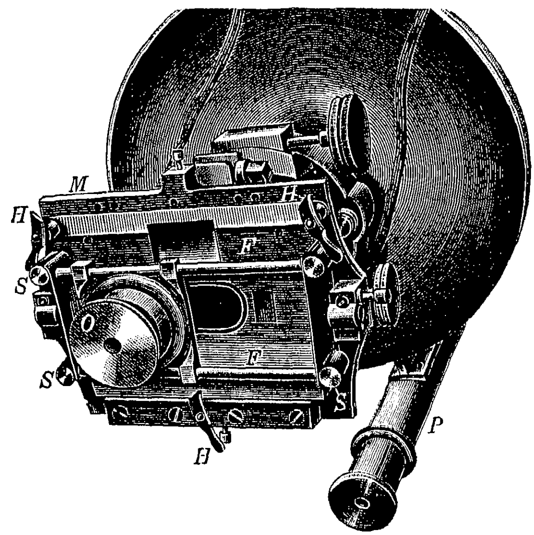


Fig. 910 b.

(Aus Zschr. f. Instrkde. 1892.)

in Folge eines durch die Uhr hergestellten Kontaktes einen Anker B auf die Dauer von $^9/_{10}$ Sekunden anzieht und während $^1/_{10}$ Sekunde loslässt. An dem Anker ist ein Stahlreifen C von 0,2 mm Dicke und 2 mm Breite angelöthet; er ist durch einen Spalt des Fernrohrs hindurchgeführt und reicht über das ganze Gesichtsfeld hinweg. In der Fokalebene der photographisch wirksamen Strahlen befindet sich an Stelle eines Fadennetzes, welches bei der Annäherung der photographischen Platte leicht der Zerstörung ausgesetzt wäre, eine Glasplatte mit einem oder mehreren vertikalen und einem horizontalen Strich. Der letztere kann mit Hülfe von Korrektionsschräubchen der Bewegungsrichtung der Sterne parallel gestellt werden. Hat man dies erreicht, so stellt man den Stahlstreifen dem Strich parallel, so dass der Abstand zwischen beiden nur einen Bruchtheil eines Millimeters ausmacht. Auf

[1]) The Photochronograph and its applications to star transits (Washington 1891) und Refer. von Prof. Knopf (Zschr. f. Instrkde. 1892, S. 242).

dem die Glasplatte umschliessenden Metallrahmen M sitzen von vier Stiften S getragen zwei Führungsschienen F für das Okular O auf, welches längs derselben verschoben wird, wenn man die Stellung der Glasplatte oder die des Stahlstreifens korrigiren will. Gegen die Glasplatte mit dem Strichnetz wird die photographische Platte durch Holzklammern H gedrückt. Bei der photographischen Aufnahme eines Sterndurchgangs wird nun während der $^1/_{10}$ Sekunde, die der Elektromagnet nicht wirkt, ein Bild des Sterns auf der Platte entworfen, während der übrigen $^9/_{10}$ aber nicht, weil in Folge der Anziehung des Ankers durch den Elektromagneten der Stahlstreifen in den Strahlengang getreten ist. Es entsteht so auf der Platte eine Reihe von Punkten, Fig. 911. Um die Zugehörigkeit der verschiedenen Bildpunkte zu den einzelnen Sekunden leicht herausfinden zu können, ist die Einrichtung so getroffen, dass die den Sekunden 29, 57, 58, 59 entsprechenden Punkte ausfallen.

Hat der Stern das Gesichtsfeld passirt, so erübrigt es noch, ein Bild des vertikalen Striches der Glasplatte auf der photographische Platte zu entwerfen, um die Lage der einzelnen Sternbilder gegen die Kollimationslinie des Fernrohrs bestimmen zu können. Zu diesem Zwecke wird die Uhr ausgeschaltet, ein permanenter Strom durch den Elektromagneten geschickt und

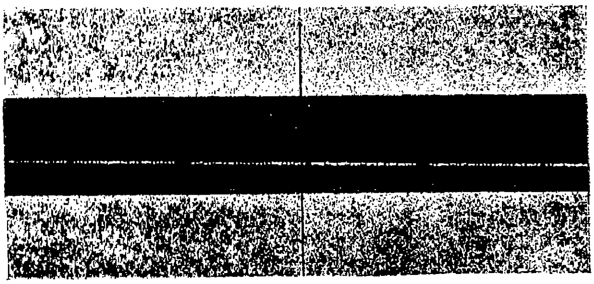


Fig. 911.

nun vor das Objektiv des Fernrohrs auf kurze Zeit eine Handlampe gehalten. Man bekommt so ein dunkles Bild des Striches auf hellem Grunde, nur der von dem Stahlstreifen verdeckte Theil der Platte, auf welchem sich die Punktreihe befindet, bleibt schwarz. Nachdem man die Platte entwickelt hat, was bei den schwachen Lichteindrücken in der Regel $1^1/_2$ bis 2 Stunden erfordert, misst man unterm Mikroskop die Entfernungen der Bildpunkte vom Vertikalstrich aus.

Um Erschütterungen des Fernrohrs durch das Aufschlagen des Ankers auf den Elektromagneten zu vermeiden, ist um das obere Ende des letzteren ein Gummiring gelegt, und in der That soll bei Anwendung dieser Vorsicht auf den Photogrammen keine Spur von Erschütterung wahrzunehmen sein. Wäre dies der Fall, so müsste der Apparat statt mit dem Fernrohr fest verbunden, nur neben dieses gestellt werden.

Da es erwünscht ist, jederzeit wissen zu können, an welcher Stelle der Platte der Stern sich befindet, besonders bei seinem Eintritt und Austritt, so ist mit dem Fernrohr noch ein Sucher verbunden.

Die Genauigkeit, die Fargis bei seinen Aufnahmen erhielt, ist eine sehr befriedigende, indem der wahrscheinliche Fehler der Zeit eines Sterndurch-

gangs für die Deklination von 45° sich zu ungefähr 0,015 Sekunden ergiebt, genauer als bei der Beobachtung mit dem Auge [?]. Jedoch nicht in der grösseren Genauigkeit, sondern in der Vermeidung des persönlichen Fehlers, liegt der wesentliche Vorzug der photographischen Methode.

Kurz nach Bekanntwerden der Vorschläge des Prof. FARGIS hat auch Verfasser in Gemeinschaft mit Dr. HAYN Versuche gemacht, an Stelle der den Stern verdeckenden Lamellen eine einfache planparallele Glasplatte von etwa 1—2 mm Dicke so zu verwenden, dass diese kurz vor dem Fokus des Objektivs hinter die Fadenplatte (vom Okular aus gerechnet) eingeschaltet wurde. Dieselbe drehte sich sehr leicht um einen kleinen Winkel zwischen zwei Spitzen, die eine etwa dem Horizontalfaden des Instruments parallele Axe bezeichneten. Die kleine Drehung wurde durch einen Ansatz an die Glasplatte bewirkt, welcher ebenfalls als Anker von einem Elektromagneten an- und durch eine Feder zurückgezogen wurde. Durch das Schliessen und Öffnen eines galvanischen Stromes in bestimmten Momenten, die gleichzeitig auf den in denselben Stromkreis eingeschalteten Registriranker des Chronographen markirt wurden, wippte diese Glasplatte etwas um ihre Drehaxe und die von den Sternen beschriebenen Linien verschoben sich um kleine Strecken parallel zu sich selbst[1]) nach oben und unten. Die Versuche ergaben, soweit das dazu benutzte Passageninstrument überhaupt scharfe photographische Bilder zu liefern im Stande war, recht brauchbare Resultate, sie mussten aber dann äusserer Verhältnisse wegen abgebrochen werden. Die Geringfügigkeit der bei dieser Einrichtung zu bewegenden Massen und die sehr symmetrische Anordnung, die dem Instrumentchen gegeben werden kann, dürften weitere Versuche mit dieser Anordnung an einem geeigneten Instrumente vielleicht rechtfertigen.

F. Dipleidoskop und Durchgangs-Prismen.

Wohl nicht zu den Durchgangsinstrumenten im eigentlichen Sinne gehören noch einige Apparate, mit denen man aber gleichwohl z. B. die Passagen der Sonne durch den Meridian zum Zwecke genäherter Zeitbestimmung beobachtet. Es sind dieses die unter den Namen „Dipleidoskop“ bekannten kleinen Instrumente, bei denen durch Reflexion an geeignet geschliffenen Prismen oder Spiegeln zwei Bilder der Sonne oder auch eines anderen hellen Gestirns erzeugt werden, die durch die tägliche Bewegung des Gestirns einander entgegengeführt werden. Ist die Stellung der Spiegel oder sind die Winkel des Prismas so gewählt, dass zu einem gegebenen Moment die beiden Bilder zusammenfallen, so kann man diesen Moment an einer Uhr beobachten, und es wird der Winkel zwischen der Halbirungslinie des Prismenwinkels und der Richtung nach dem Gestirn dann stets für diesen Moment derselbe sein. — Das von DENT nach Angaben von BLOXAM konstruirte Instrument zeigt Fig. 912;[2]) es besteht aus einer planparallelen Glasplatte O, Fig. 913,

[1]) Ganz ähnlich dem Vorgang im Clausen'schen Planplatten-Mikrometer.

[2]) Nach Wolf, Handb. d. Astronomie, Bd. II, § 194 hat Dent ein solches Instrument nach den 1843 patentirten Ideen von Bloxam gebaut; Plössl in Wien hat die Konstruktion verbessert. Eine der ersten Beschreibungen findet sich in: Heinen, Das Dipleidoskop,

und zwei Planspiegeln M u. N, welche gegen O um 60° geneigt sind. Stellt man den Apparat so auf, dass die Ebene von M mit dem Meridian zusammenfällt, so wird, wenn A die Richtung von der Sonne (vor Mittag) darstellt, sowohl durch Reflexion an O ein Sonnenbild in B, als auch durch Reflexion an N und M ein solches in B′ sichtbar sein. Bei dem Durchgang der Sonne

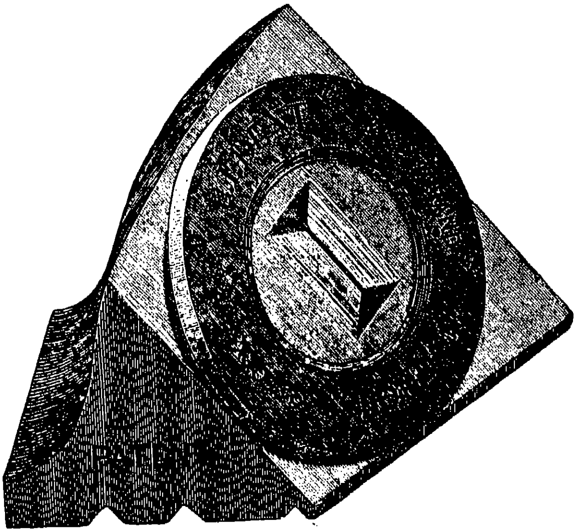


Fig. 912.

durch den Meridian werden beide Bilder zusammenfallen und danach die in der zweiten Figur angedeutete Stellung einnehmen. Hat man also einmal mit Hülfe eines bekannten Uhrstandes (gegen wahre Sonnenzeit) die Stellung von M berichtigt, so wird man später, die Unveränderlichkeit in der hier in Betracht kommenden Grenze vorausgesetzt, den Moment des Meridian-

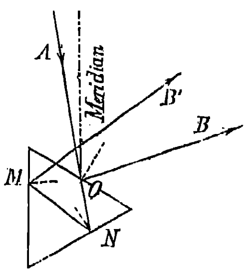


Fig. 913 a.

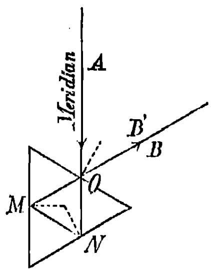


Fig. 913 b.

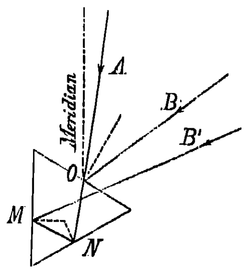


Fig. 913 c.

Düsseldorf 1847. Vergl. dazu Ed. J. Dent, A Description of the Dipleidoskop, or double reflecting meridian and altitude sustant etc. London 1860.

Die technische Ausführung des Steinheil'schen Instrumentchens zeigt Fig. 915 und diejenige eines verbesserten Plössl'schen Passagen-Prismas die Fig. 916, dieselbe stellt einen solchen Apparat dar, wie ihn Sécretan in Paris anzuordnen pflegt. Mit ihm lassen sich auch Durchgänge in verschiedenen Vertikalen beobachten.

durchgangs der Sonne und damit den Moment für Null Uhr wahre Zeit immer leicht wiederfinden können.

Ein anderes Princip wandte Steinheil zu ähnlichem Zwecke an; er liess die Sonnenstrahlen durch ein gleichschenkeliges Prisma gehen und zwar so, dass der Lichtkegel durch ein Fernrohr zur Hälfte direkt ins Auge gelangte, zur anderen Hälfte aber zuerst durch ein Prisma ging, welches mit seiner Hypotenusenfläche parallel dessen optischer Axe gestellt war. Ist dann S′, Fig. 914, die Richtung des direkten Strahlenbüschels und S die desjenigen, welcher das Prisma P durchläuft, so wird, wenn das Gestirn von A nach B geht, das direkte Bild von M nach N und das reflektirte von N nach M wandern. Wird S′ S′ parallel a b, so wird, weil stets $\alpha = \alpha$ für $\gamma = \gamma$ sein muss, auch S S parallel a b; damit aber fallen die beiden Bilder im Fernrohr zusammen. Ist also von Anfang an die optische Axe in den Meridian gestellt und damit auch die Hypotenusenfläche a b des Prismas, so werden die beiden Sonnenbilder bei dem Durchgang durch den Meridian zusammenfallen. Man kann also auch auf diese Weise später immer wieder den Moment bestimmen, in welchem es 0^h wahre Zeit ist. Die Genauigkeit, welche solche Apparate bei guter Ausführung und Justirung gewähren, kann auf etwa 0,5 Zeitsekunden geschätzt werden.

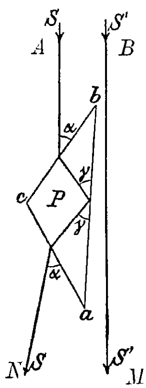
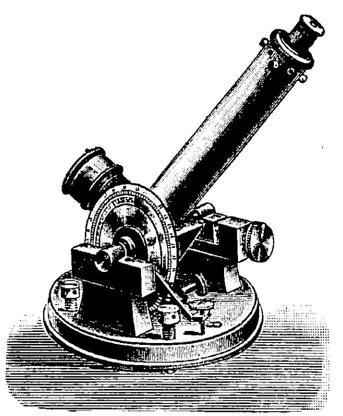


Fig. 914.


Fig. 915.

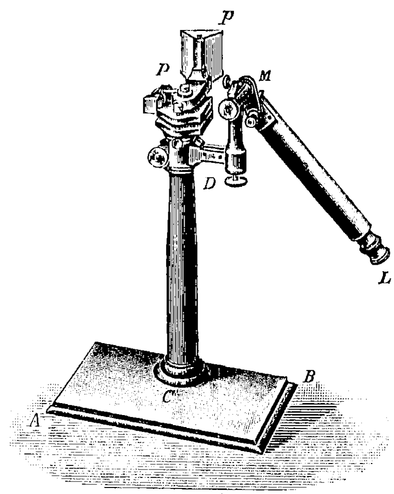


Fig. 916.

2. Meridiankreise.

Will man mittelst der Durchgangsinstrumente auch zugleich die Deklinationen der Gestirne bestimmen, so ist es nöthig, dass mit denselben auch ein oder besser zwei Höhenkreise, welche Theilungen tragen, verbunden werden. Da über die Herstellung dieser Kreise, resp. ihre Theilung schon in einem früheren Kapitel eingehend berichtet worden ist, wird hier nur auf das mit solchen Kreisen versehene Instrument als Ganzes näher einzugehen sein. Wie aus dem vorigen Abschnitt hervorgeht, hat schon O. Römer sein

Mittagsrohr mit einem Kreise oder wenigstens mit einem Kreisbogen versehen, der allerdings wohl zunächst nur zu den nöthigen Einstellungen diente. Erst viel später ist dieser Kreis zum Messen eingerichtet worden. Ohne weiter den historischen Verlauf dieser Entwicklung hier zu verfolgen,[1]) mag bemerkt werden, dass durch Hinzufügen des Kreises die Principien des Baues der Durchgangsinstrumente mehrfach erweitert werden mussten. Ist es für ein Instrument der letzteren Art allein eine genügende Bedingung, dass die Ebene, welche seine Visirlinie beschreibt, so genau wie immer möglich mit dem Meridian des Ortes zusammenfällt, so soll sich für einen Meridiankreis auch die Neigung seiner jeweiligen Visirebene gegen den Horizont oder gegen die Lothlinie genau ermitteln lassen. Die hierzu dienenden Theile, Kreis und Mikroskope oder Nonien müssen zum Theil fest mit dem Instrument und zum Theil fest mit den Pfeilerbauten resp. mit den Lagern verbunden sein, oder es muss die Möglichkeit gegeben sein, Abweichungen von einer normalen Lage bestimmen und messen zu können. Es ist früher besprochen worden, wie die Kreise mit dem Fernrohr verbunden werden[2]) und wie man Kollimatoren und Miren resp. Quecksilberhorizonte zur Bestimmung der Lage eines bestimmten Null-Durchmessers des Kreises zum Horizont anwendet. Welche Einrichtungen man zu diesen Zwecken den Meridiankreisen im Laufe der Zeit gegeben hat, werden die nun zu besprechenden einzelnen Typen derselben erkennen lassen.

a. Die Meridiankreise von J. G. Repsold und Reichenbach.

Das erste, den Namen eines Meridiankreises verdienende Instrument in Deutschland wurde zu Anfang dieses Jahrhunderts von Joh. Georg Repsold, dem Grossvater der jetzt lebenden Inhaber der Hamburger Firma, für eigene Zwecke erbaut; später kam es in Gauss' Hände nach Göttingen, wo es gegenwärtig noch in gebrauchsfähigem Zustande aufgestellt ist. Es würde sehr interessant sein, dieses Instrument eingehender zu besprechen, doch kann das hier nicht geschehen, aber ich will es in einer Figur wenigstens den Astronomen und Mechanikern vorführen und eine ganz kurze Beschreibung daran knüpfen, denn der Vergleich dieses Instruments mit den heutigen Meridiankreisen ersten Ranges dürfte auch schon bei flüchtigem Überblick äusserst lehrreich sein. Fig. 917 stellt diesen alten Meridiankreis in ganzer Ansicht zwischen seinen Pfeilern dar. Das Objektiv, welches um etwa 10 cm vom Ende des Rohres nach innen zu befestigt ist, hat eine Öffnung von 104 mm, von der aber ein Ring von etwa 8 mm Breite durch eine innere Blende verdeckt wird; die Brennweite beträgt 232 cm, das Verhältniss zwischen beiden ist also ein sehr grosses. Die Länge der Axe ist nahe 130 cm und die Dicke der aus Kanonenmetall bestehenden Zapfen ist nicht ganz 4 cm;

[1]) Was ich event. bei einer anderen Gelegenheit zu thun gedenke.

[2]) Man hat bisher immer den Kreis mit dem Fernrohr verbunden und die Ablesungsvorrichtung direkt oder indirekt mit dem Pfeiler; an sich wäre freilich auch die umgekehrte Ausführung denkbar; sie würde aber wohl kaum irgend einen anderen Vorzug in Anspruch nehmen können als vielleicht den, dass man event. die Ablesung der Kreise vom Okular aus vornehmen könnte.

der eine derselben ist zum Zwecke der Beleuchtung durchbohrt. Die beiden leicht konischen Fernrohrtheile sitzen vermittelst einer viereckigen Platte und je vier starken Schrauben an dem Kubus von 17 cm Seitenlänge. In denselben wirft ein unter 45° gegen die Absehenslinie geneigter, durchbohrter Spiegel das durch den Zapfen eintretende Licht nach dem Okular. Auf dem einen Axenende sitzt der über einen Meter (111 cm) im Durchmesser haltende Kreis. Derselbe zeigt auf seinem Limbus noch heute die verschiedenen Theilungen,[1]) welche Joh. G. Repsold nach und nach mit immer grösserer Vollkommenheit darauf eintrug. Eine weitere gröbere Theilung erleichtert

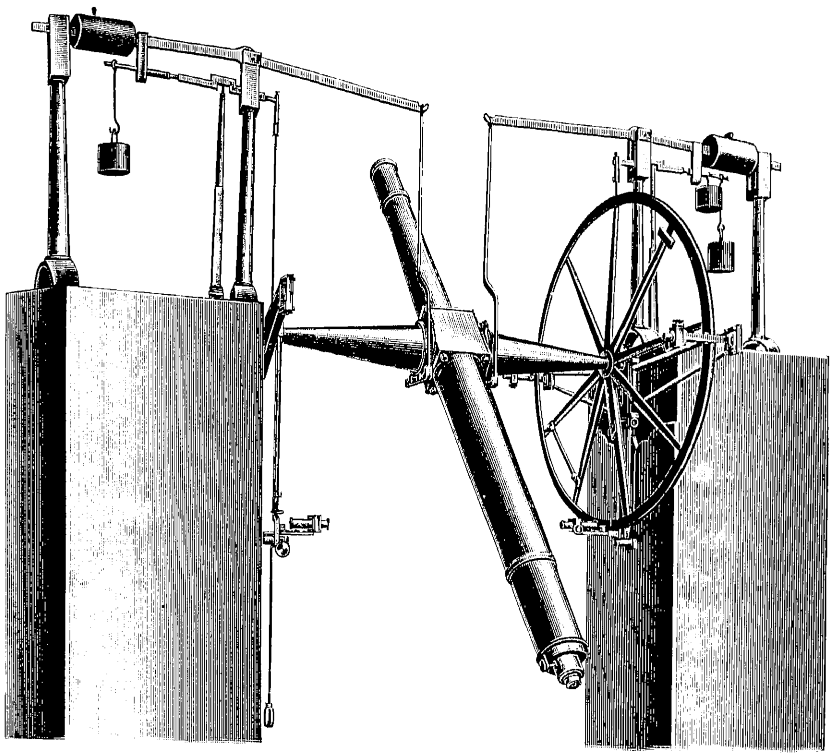


Fig. 917.

die Einstellung. Zwischen 2 der 9 Speichen ist eine Stange eingesetzt, welche zwei abgedrehte Ringe hat, um daran ein Niveau zur Bestimmung des Horizontalpunktes anzuhängen.

Der Kreis kann durch drei Mikroskope abgelesen werden, deren eigenthümliche Anordnung, Fig. 918, genauer zeigt. In derselben ist 1 das Lager am Westpfeiler. Es lässt sich die ganze Platte mittelst der Schraube 2 im Azimuth korrigiren (der Ostpfeiler trägt ein ganz gleiches, aber in Neigung korrigirbares Lager mit Mikroskoparmen), der das Muttergewinde für diese Schraube tragende Bolzen 3 ist fest in dem Westpfeiler eingelassen.[2]) In der Platte 1

[1]) Auf der dem Fernrohr zugewandten Seite, wie die Stellung der Mikroskope ohne Weiteres erkennen lässt.

[2]) Vergl. S. 31, Fig. 32.

sind die drei Armrahmen 4, 4, 4 zwischen Spitzenschrauben beweglich, aber doch sicher befestigt.[1]) Am anderen Ende trägt jeder Rahmen ein Mikroskop 5, 5, 5, sowohl radial als tangential justirbar. Eines derselben ist besonders bei 5′ auf dem Pfeiler stehend dargestellt. Die Stange 6 dient einmal dem Mikroskop selbst als Halt, dann aber ist an ihr ein kleiner Rahmen 7 befestigt, welcher sich längs der Stange mittelst einer Schraube verschieben lässt; zwischen den Seiten dieses Rahmens dreht sich sehr leicht eine kleine Scheibe, welche bei richtiger Entfernung des Mikroskops vom Kreis auf diesem rollt. Eine geniale Einrichtung zur Erhaltung der richtigen Grösse einer Schraubenumdrehung. Die Lagerpunkte selbst werden durch eingelegte Bergkrystallplatten 9 gebildet. Hinter jedem Lager ist zwischen

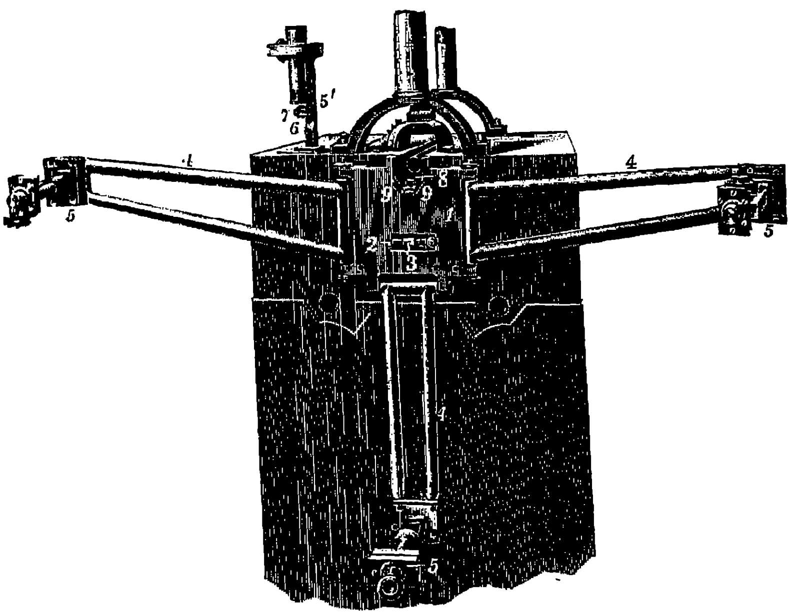


Fig. 918.

einer in der Axenrichtung verstellbaren Gabel eine kleine Rolle mit konischem Rande 8 angeschraubt, welche der Instrumentenaxe stets dieselbe Lage wieder ertheilt, wenn das Instrument aus den Lagern genommen war. Da das Instrument natürlich ungleich stark in den Lagern liegen würde, muss die Äquilibrirung aus zwei Theilen bestehen. Ein Paar Hebel greift in der Nähe des Kubus an, um Durchbiegung zu vermeiden, ein anderes Paar ganz nahe den Zapfen, bei diesen ist der lange Arm desjenigen Hebels auf der Kreisseite noch durch ein zweites bei der Umlegung auch umzuhängendes Gewicht belastet.

[1]) Eine Einrichtung, auf welche besonders hinzuweisen ist, da später Reichenbach und sogar Repsold selbst (Hamburger Kreis) den die Mikroskope tragenden Rahmen auf die Axe des Kreises gesetzt haben, während sowohl bei diesem ersten Kreis als auch bei den Königsberger und Pulkowaer Repsold'schen Kreisen die Mikroskope an besonderen, von der Axe unabhängigen, Theilen befestigt sind, wie man es auch bei allen neueren Meridiankreisen zu thun pflegt.

Da es in der Absicht des Erbauers gelegen zu haben scheint, an dem Kreis immer sehr nahe richtige Höhen resp. Zenithdistanzen abzulesen, so hat er dem entsprechend die Fadenplatte am Okularkopf so eingerichtet, wie es Fig. 919 zeigt. Dieselbe lässt sich vermittelst einer Schraube und zugehörigen Gegenfeder nicht nur um die optische Axe drehen und durch eine zweite Schraube nebst entsprechender Schlittenführung in der Richtung der täglichen Bewegung der Gestirne zur Korrektion des Kollimationsfehlers verschieben, sondern auch mittelst einer dritten Schraube im vertikalen Sinne; eine später wieder ganz verlassene Einrichtung. Es sind mit diesem höchst interessanten Kreise in Göttingen verhältnissmässig wenig Beobachtungen angestellt worden, da GAUSS schon ein Jahr nach Aufstellung des Repsold'schen Kreises einen neuen aus REICHENBACH's bewährtem Institute erhielt. Die Verbesserungen, welche REICHENBACH an diesem Instrumente glaubte eingeführt zu haben, haben sich nicht lange als solche be-

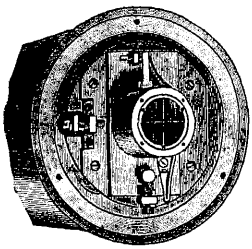


Fig. 919.

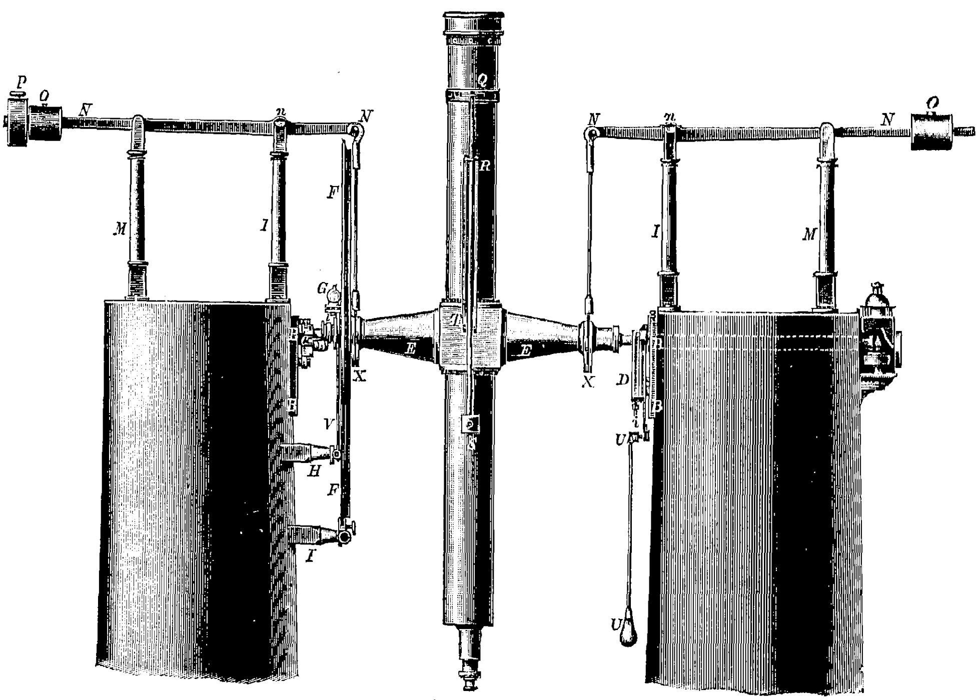


Fig. 920.

währt, so dass heute wohl kaum noch einer dieser Kreise ganz in seiner ursprünglichen Form erhalten sein dürfte.

Die Fig. 920 stellt einen Reichenbach'schen Meridiankreis dar, wie ihn dieser Künstler für das Observatorium zu Neapel baute.[1]) Eine interessante

[1]) Die Figuren sind nach vorzüglichen Stichen in Brioschi, Coment. della specola di Napoli geschnitten, woselbst sich auch eine Beschreibung befindet.

Beschreibung eines ähnlichen, aber noch vollkommeneren Instruments giebt Bessel in der VI. Abtheilung der Königsberger Beobachtungen, und ich möchte diese mit einigen Abkürzungen als Erläuterung zu unserer Figur hier folgen lassen, indem ich gleich an den betreffenden Stellen auf die Änderungen am Königsberger und Göttinger Instrument und ihren Grund hinweise.

„Der Meridiankreis steht zwischen zwei Pfeilern; seine horizontale Axe, von 87 cm Länge, endigt in zwei stählerne Cylinder, welche in den Lagern C und D von Glockenmetall liegen; diese sind aus zwei in einem Winkel von 60° zusammenstossenden Ebenen gebildet und durch einen federnden Deckel verschlossen, wodurch die Axe des ganz genau ins Gleichgewicht gesetzten Instruments, gegen die drei Seiten eines gleichseitigen Dreiecks, gleichförmig angedrückt wird. Das Gleichgewicht ist durch Hebel N N hervorgebracht, deren Unterlagen sich auf zwei Säulen J befinden, welche auf den Pfeilern stehen; sie tragen das Instrument mittelst Reibungsrollen X, welche dem Ganzen eine ausserordentlich leichte und sanfte Bewegung geben. Die Horizontalität der Axe wird durch eine Wasserwaage hergestellt und geprüft.

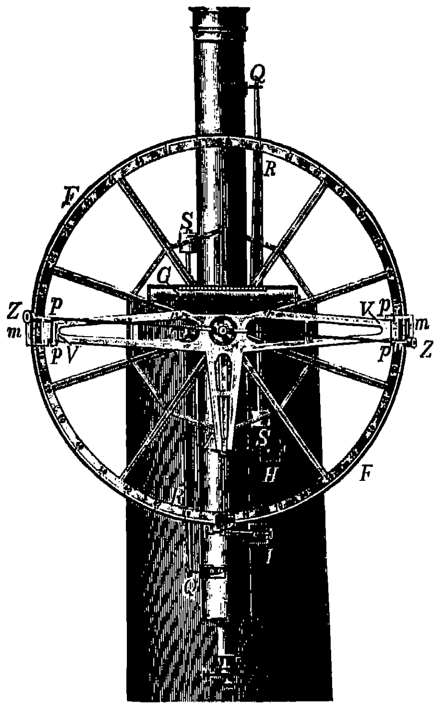


Fig. 921.

Auf dieser Axe sind die beiden Hälften des 162,4 cm langen Fernrohrs angeschraubt und mittelst eines Hebel-Apparates Q R T S gegen Biegung gesichert; das Objektiv hat 108,7 cm freie Öffnung; die vier Okulare vergrössern 66, 107, 129, 182 mal, und im Brennpunkte befinden sich (beim Königsberger Instrument) fünf vertikale und zwei horizontale, nur 8″ von einander entfernte Fäden, deren Zwischenraum der zu beobachtende Stern bisektirt."

„Bis hierher," sagt Bessel, „ist das Instrument also ein vollständiges Mittagsfernrohr, welches noch das Ausgezeichnete hat, dass es mit gleicher Leichtigkeit in beiden Lagen der Axe angewandt werden kann. Seine Umlegung, welche geschehen muss, ohne dass das Gewicht des Instruments durch die Lager getragen wird, erhält man durch eine eben so einfache als sichere Vorrichtung, vermöge welcher die Gegengewichte ihre Wirkung bereits äussern, wenn die Zapfen noch nicht die Lager berühren.

An dem einen Ende der Axe ist ein gegossener Kreis F von drei Fuss (97,5 cm) Durchmesser befestigt, welcher, auf der dem Pfeiler zugewandten Seite, von 3 zu 3 Minuten, auf Silber getheilt ist; ein Alhidadenkreis ist auf

demselben Ende der Axe angebracht, so dass diese durch sein Centrum durchgeht und sich in der kegelförmigen Öffnung desselben dreht. Dieser Alhidadenkreis hat vier Nonien, in einer Ebene mit dem Hauptkreise, vermöge welcher dieser von 2″ zu 2″ abzulesen ist; er trägt ferner eine feste Wasserwaage G, wodurch man die Veränderungen seiner Lage gegen den Horizont abmessen kann. Ein sehr starker, von seinem Centrum ausgehender Arm und eine Stellschraube an demselben befestigen ihn an dem Pfeiler, so dass die Wasserwaage stets denselben Stand zeigen würde, wenn das Drehen der durch den Alhidadenkreis gehenden Axe, wegen seiner Befestigung am Bolzen J die Excentricität, und die Temperatur oder eine Verrückung der Pfeiler, nicht kleine Veränderungen veranlassen könnten, deren wirkliches Stattfinden aber die Ablesung der Wasserwaage bei jeder Beobachtung nothwendig macht. Ein Arm an dem anderen Ende der Axe mit einer Hülse, durch welche dieses durchgeht, wird vermittelst einer Schraube fest an die Axe angeklemmt und dient dann zum feinen Einstellen des Fernrohrs. Durch diese Einrichtungen hat der Künstler erlangt, dass auf die Peripherien beider Kreise gar keine Kraft wirkt, wodurch sonst Änderungen von deren Figur und bedeutende Fehler entstanden sind.[1])

Die Beleuchtung der Fäden geschieht durch die Axe, welche auf dem dem Kreise entgegengesetzten Ende durchbohrt ist; die nothwendigen Abänderungen ihrer Stärke erlangt man durch eine an jedem Pfeiler angebrachte Zange bei U, deren grössere oder geringere Öffnung eine grössere oder geringere Menge Licht durchgehen lässt. Eine bedeutende Verstärkung des Lichts ist, seit dem November 1820, aus konischen, inwendig polirten, metallenen Röhren hervorgegangen, welche, so wie früher auf den Sternwarten von München und Göttingen, in den Durchbohrungen der Pfeiler angebracht sind.

Da das Instrument zum Umlegen eingerichtet ist,[1]) und eben dadurch einen seiner schönsten Vorzüge erlangt, so war noch darauf zu sehen, dass aus der Umlegung keine Veränderung der Pfeiler entstehe. Das Ende der Axe, welches die beiden Kreise trägt, ist nämlich schwerer als das entgegengesetzte und erfordert daher auch schwerere Gegengewichte, wodurch die Hebel auf der einen Seite einen um 104 Pfund stärkeren Druck ausüben, als auf der andern. Hat man nun die Axe nivellirt und legt dann das Instrument um, so erleidet der Pfeiler, welcher vorher dem stärkeren Drucke ausgesetzt war, den schwächeren und umgekehrt, und es ist nicht zu bezweifeln, dass der Unterschied von 208 Pfund eine merkliche Veränderung in der Horizontalität der Axe erzeugen kann. Um dem hieraus hervorgehenden Fehler auszuweichen, wurden in der die Grundlage umgebenden Mauer zwei horizontale, starke, eiserne Stangen befestigt, welche an den beiden Pfeilern von Süden nach Norden hergehen und weder die Steinplatte noch den Fussboden berühren; von diesen Stangen geht eine schwache eiserne Stange an der Mitte jedes Pfeilers in die Höhe, welche vermittelst

[1]) Bei dem in Fig. 920 dargestellten Neapeler Instrument findet Klemmung und Feinbewegung sowohl für den Theilkreis als auch für die Alhidade noch an diesen selbst statt. Dasselbe ist auch noch nicht zum Umlegen eingerichtet.

eines viereckigen Rahmens, die Lager des Instruments einschliesst, und in deren oberes Ende ein Hebel eingreift, dessen Ruhepunkt, vermöge eines an dem andern Ende desselben angebrachten Gewichts, einen Druck von 104 Pfund ausübt. Dieser Hebel wird stets auf der dem Kreise entgegengesetzten Seite angebracht, und hebt also die Ursache des Fehlers auf das vollkommenste. Ohne diese Vorrichtung würde, in beiden Lagen der Axe, ein Unterschied von 1″,3 erscheinen."[1])

Anmerkungen: 1. Bei dem Göttinger Instrument bilden die Lagerflächen einen Winkel von 90° und sind nicht durch einen solchen festen Deckel geschlossen, sondern nur durch einen einfachen zur Abhaltung des Staubes. Erstere Einrichtung, welche die völlige und genaue Äquilibrirung des Instruments voraussetzt, hat sich wohl kaum bewährt, sie findet sich auch später nicht mehr.

2. Das Göttinger Instrument hat fast genau dieselben Dimensionen.

3. Jetzt sind die Fadennetze in diesen Instrumenten für Registrirbeobachtung eingerichtet und enthalten daher eine erheblich grössere Anzahl von Fäden in mehreren Gruppen.

4. In unserer Figur ist nur eine gewöhnliche Alhidade mit zwei Verniers vorhanden. Der Alhidadenkreis ist wohl nirgends mehr als solcher im Gebrauch, höchstens trägt er, wenn überhaupt noch am Instrumente sitzend, die Mikroskope, welche jetzt durchgängig zur Ablesung benutzt werden. Reichenbach hat sich nie von der Überlegenheit der Mikroskopablesung überzeugen lassen und stets zunächst den Vernier zur Anwendung gebracht. (Vergl. das Kapitel über die Kreise, S. 481.)

5. Das Mitgehen der auf der Axe des Instruments sitzenden Alhidade ist der hauptsächlichste nicht zu vermeidende Fehler dieser und ähnlicher Einrichtungen. Eine fortwährende Änderung der Stellung der Klemme sowohl als auch Änderungen, die in dem Vorhandensein einer Excentricität ihren Grund haben, sind die Folge und beeinträchtigen auch bei empfindlichem Niveau die Beobachtung erheblich, abgesehen von deren mühevoller Ausführung. Selbst die vom Verfasser früher vorgeschlagene Ersetzung des Niveaus durch eine Reflexeinrichtung mit Quecksilberhorizont für solch alte Instrumente wird die Mühe nicht verringern, wenn auch an Zuverlässigkeit dadurch gewonnen wird.

Wie aus den beiden Beschreibungen hervorgeht, ist eine der wichtigsten Fragen beim Bau der Meridiankreise die, welche sich auf die Anordnung und Befestigung der Ablesevorrichtungen, der Mikroskope bezieht. Diese sollen weder ihre Lage gegen einander noch gegen den Horizont, also gegen eine der Fundamentalebenen und namentlich nicht durch die beim Gebrauche nöthigen Bewegungen des Instruments verändern.

Beim alten Repsold'schen Kreise sind die Mikroskope mit den Axenlagern verbunden, wodurch dieselben sowohl von der Bewegung des Kreises unabhängig werden, als auch bei einer etwaigen Korrektur der Lager die Lage der Mikroskope zur Umdrehungsaxe nicht geändert wird. Bei Reichen-

[1]) Vergl. dazu die bei den neuen Meridiankreisen getroffenen bezügl. Einrichtungen.

BACH ist die letzte Bedingung für die Nonien noch strenger erfüllt, aber die Befestigung an einem auf der Axe des Instruments sitzenden Ringe ist von grossen Nachtheilen begleitet, während allerdings die gegenseitige Lage der Ableseeinrichtungen ganz besonders gesichert erscheint.

b. Die Repsold'schen Meridiankreise von Königsberg, Hamburg, Pulkowa etc.

Um diesen hier geltend gemachten Bedingungen besser zu entsprechen, führte A. REPSOLD beim Königsberger Meridiankreis, den er im Jahre 1840—41 für BESSEL baute und kurz vorher beim Pulkowaer die in Fig. 922 dargestellte Anordnung ein.[1]) Dieselbe stellt den Pulkowaer Kreis nach der in der „Description de l'Observatoire de Poulkova" gegebenen Abbildung dar. Die Axe des Instruments trägt auf jeder Seite einen ganz gleichen Kreis, und ebenso befindet sich auf jeder Seite mit den Zapfenlagern auf derselben Grundplatte, also für sich justirbar, ein Rahmen für die Mikroskope.

Die für den Pulkowaer Meridiankreis von W. STRUVE aufgestellten Bedingungen waren die folgenden, aus denen hervorgeht, nach welchen Gesichtspunkten ein mustergültiges Instrument dieser Art damals gebaut wurde.

1. Die optische Kraft muss eine möglichst bedeutende sein. Die von REICHENBACH zur Vermeidung der Biegung eingeführten Hebel an der oberen und unteren Seite des Fernrohrs sind zu vermeiden, dafür aber die Form der beiden Fernrohrtheile konisch statt cylindrisch zu gestalten; Objektiv und Okular sind zum Vertauschen einzurichten.

2. Die Horizontalaxe hat an beiden Seiten zwei ganz gleiche Kreise zu tragen.

3. Die Klemme und Feinbewegung hat möglichst central, d. h. in nächster Nähe des Kubus anzugreifen, um von aller Torsion unabhängig zu machen.

4. Die Vernierablesung ist durch solche vermittelst Mikroskop zu ersetzen und zwar sind diese so an den Pfeilern anzubringen, dass sie auf alle Fälle von der Bewegung der Axe ganz unabhängig sind.

5. Die Äquilibrirung des Instruments ist auf beiden Seiten in ganz gleicher, symmetrischer Weise vorzunehmen und dürfen auch durch die eventuell zu verwendenden Führungsringe oder dergleichen keine Reibungen an der Axe bewirkt werden.

6. Dem Instrument sind die nöthigen Kollimatoren für Horizontal- und Vertikalebene beizugeben.

Die Fig. 922 zeigt das Instrument von Süden gesehen bei vertikal stehendem Fernrohr. Die Pfeiler sind Monolithe aus Granit von einer oberen Fläche von 18 Zoll im Quadrat. Die Axe des Instruments ist von Glocken-

[1]) Der von demselben Künstler für Hamburg gebaute Kreis, welcher 1836 aufgestellt wurde, hat noch die Einrichtung, dass der die Mikroskope tragende Rahmen auf dem Axenende mit einer Büchse ruht, aber schon der für Pulkowa bestimmte ist dem Königsberger fast ganz gleich; vergl. dazu die Fig. 167, S. 147, welche den Hamburger Meridiankreis darstellt.

metall aus einem Stück gegossen und besteht aus dem kubischen Mittelstück und den daran stossenden beiden Konen, an welche sich noch auf beiden Seiten die cylindrischen Stücke zur Aufnahme der Kreisbüchsen ansetzen. Die Zapfen von 1,8 Zoll Durchmesser sind aus Stahl. Die gesammte

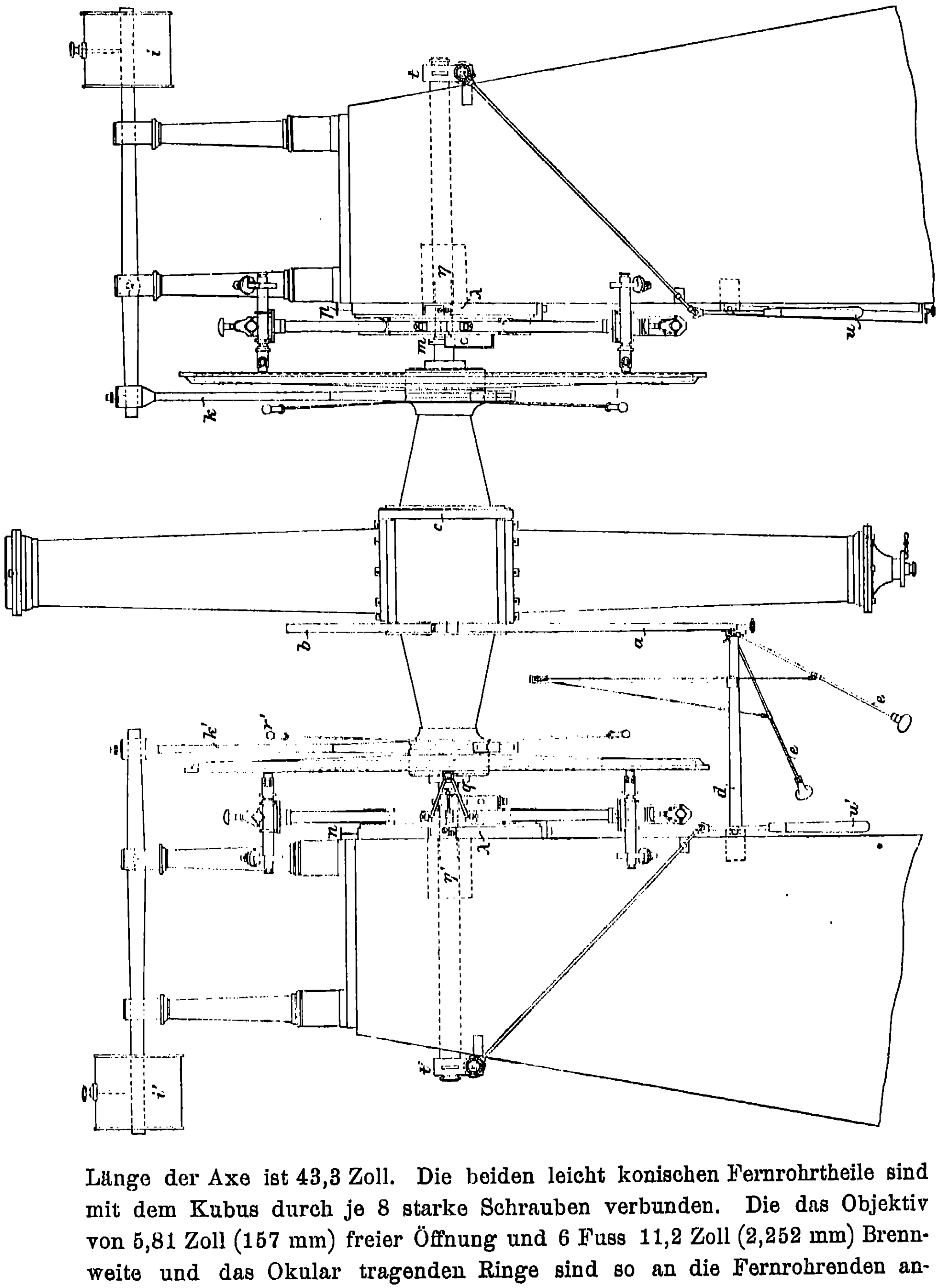


Fig. 922.
(Nach Struve, Descript. de l'observ. de Poulkova.)

Länge der Axe ist 43,3 Zoll. Die beiden leicht konischen Fernrohrtheile sind mit dem Kubus durch je 8 starke Schrauben verbunden. Die das Objektiv von 5,81 Zoll (157 mm) freier Öffnung und 6 Fuss 11,2 Zoll (2,252 mm) Brennweite und das Okular tragenden Ringe sind so an die Fernrohrenden an-

gepasst, dass sie leicht mit einander vertauscht werden können, wodurch die Biegung und der dadurch entstehende Fehler unschädlich gemacht werden kann. Dabei ist darauf geachtet, dass die Schwerpunkte der vertauschbaren Theile in beiden Lagern genau dieselbe Entfernung vom Centrum des Instruments haben, sowie überhaupt die vollste Symmetrie aller Theile, der Axen und der Fernrohrtheile angestrebt wurde.

Ursprünglich waren 9 Fäden im Fokus ausgespannt, und die beigegebenen Vergrösserungen waren 170, 238 und 245, von denen nur die stärkste benutzt wurde. Die Klemme und Feinbewegung a greift in unmittelbarer Nähe des Kubus an, um eine etwaige Torsion unmöglich zu machen.[1])

Diese Klemme stützt sich gegen einen starken Bügel d in Form eines gleichschenkeligen Dreiecks, dessen kurze Seite sich noch über die beiden gleichen Seiten etwas fortsetzt. Mit diesen Ansätzen bewegt sich das Dreieck (an jedem Pfeiler ist ein solches angebracht) sicher in den Höhlungen zweier in jeden Pfeiler eingegossenen Bolzen in der Weise, dass seine Spitze mit dem unteren Ende der Klemme in feste Verbindung gebracht werden kann, wenn sich diese auf der betreffenden Seite befindet. Am gegenüber liegenden Pfeiler hängt während dessen dieser Rahmen an der Innenseite desselben herab und stört die Bewegung des Instruments in keiner Weise. Auf beiden Seiten der Axe befindet sich je ein fein getheilter Kreis von 48 Zoll Durchmesser. Dieselben sind mit der Axe nicht verschraubt, sondern werden auf derselben nur durch Reibung in der Weise befestigt, dass von der äusseren Seite auf den Mittelring mittelst 6 Schrauben eine starke ringförmige Scheibe aufgepresst wird. Dadurch ist es zunächst möglich, dass man die Nullpunkte der Kreise bezüglich ihrer Lage zur Absehenslinie leicht um beliebige Winkel verstellen kann, wodurch also bei gleichen Zenithdistanzen verschiedene Stellen des Kreises zur Ablesung benutzt werden; ausserdem aber wird auch durch diesen gleichmässigen Druck die Gefahr irgend welcher Spannungen, vermieden, die durch das Festschrauben mittelst 6 oder mehr Schrauben, die durch den Kreis selbst hindurchgehen, eintreten können.

Neben den Kreisen sind auf jeder Seite zwei besondere Handgriffe angebracht, mittelst welcher sich das Instrument leicht drehen lässt, ohne Fernrohr oder Kreis berühren zu müssen.

Die Anordnung, welche Repsold den Mikroskopträgern bei diesen Instrumenten gab,[2]) ist die in Fig. 922 dargestellte und bereits auf S. 148 näher beschriebene. In den Lagern, deren Seitenflächen unter einem Winkel von 90^0 gegen einander geneigt sind, liegt das Instrument nur mit einem sehr geringen Theil seines Gewichtes auf, der grösste Theil des Gewichtes wird durch je ein Gegengewicht i und i′ äquilibrirt, welches an dem längeren Arm eines auf einem Ständer gestützten Hebelarmes angebracht ist. Am kürzeren Ende hängt in einer Hülse auf einer Spitzenschraube der Bügel k resp. k′, welcher an seinem unteren Ende umgebogen ist und die Ausschnitte für zwei

---

[1]) Die nach besonderem Princip konstruirte Klemme findet sich dargestellt und ausführlich beschrieben auf S. 491, Fig. 496. Bei c ist ein die Klemme äquilibrirender Ring aufgesetzt.

[2]) Mit Ausnahme des in Hamburg befindlichen.

Rollen besitzt; diese gleiten in einer in der Nähe der Kreise auf der Axe eingedrehten Rille und dienen zur Vermeidung der Reibung. Die Sicherheit der Auflagerung beider Zapfen wird durch je ein Gewichtchen, welche sich in Form von Axendeckeln über die Zapfen legen, in ganz gleicher Weise herbeigeführt. Die Bügel sind, wie man sieht, nicht mehr um die Axe herum zu einem Ring geschlossen wie früher, so dass nach Heben des Instruments aus den Lagern dasselbe mittelst des Umlegebockes sofort zwischen den Pfeilern herausgefahren werden kann, während die Bügel an den Hebeln hängen bleiben.[1]) Ist das Instrument gehoben, so ruhen die Hebel mit den die Gewichte tragenden Enden auf zwei entsprechenden Stützen. Dadurch wird aber die Belastung der Pfeiler bei einliegendem und ausgehobenem Instrument verschieden. Diesen Übelstand, welchen man erst in neuerer Zeit genauer erkannt hat,[2]) vermeiden die neuen Repsold'schen Kreise (siehe dort). Da bei den Instrumenten dieser Art Kreis und Mikroskope nicht unmittelbar mit einander verbunden sind, der Abstand der Limbusfläche von den Objektiven der Mikroskope sich durch kleine Verschiebungen der Horizontalaxe in der Ost-West-Richtung ändern kann, einmal wegen des Spielraumes, welchen diese Axe in den Lagern haben muss, um aus- und eingelegt werden zu können, und sodann auch durch Temperatureinflüsse, so ist Vorkehrung getroffen, diesen Umstand unschädlich zu machen. Es kann nämlich auf jeder Seite ein Rohr, welches in den Beleuchtungsdurchlässen gleitet, durch die Schraube p resp. n so eingestellt werden, dass je nachdem der zur Ablesung benutzte Kreis[3]) im Osten oder Westen liegt, jeweils das nach dieser Seite gekehrte Axenende gegen diese Röhre vermittelst einer gegen das andere Axenende wirkenden Feder leicht angedrückt wird. Ausserdem könnte allerdings die Wirkung der Temperatur, welche durch Längerwerden des Stahlzapfens den Kreis von den Mikroskopen entfernen würde, auch dadurch wieder ausgeglichen werden, dass man die Höhe der messingnen Büchse, welche den Kreis auf der Axe festklemmt so bemisst, dass ihre Ausdehnung der des Zapfens gleichkommt. Ob aber solche Überlegungen bei dem Bau der hier in Rede stehenden Instrumente zu Grunde gelegen haben, ist aus dem mir zugänglichen Material nicht ersichtlich.

Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes geschieht vermittelst einer einfachen Lampe, deren Licht durch eine Sammellinse in die den Pfeiler durchsetzenden Röhren η und η' geleitet wird. Dieses Lichtbündel fällt wie gewöhnlich in den Kubus auf einen um 45° zur Gesichtslinie geneigten Spiegel und wird so nach dem Okular reflektirt. Da aber Okular und Objektiv mit einander vertauscht werden können, so ist dieser Spiegel auf beiden Seiten polirt und es kann daher dem Lichtbündel einfach dadurch die nach Vertauschung nöthige um-

[1]) Bei dieser Anordnung sind die Bügel nach derselben Seite geöffnet, weil das Instrument nicht zwischen den Pfeilern umgelegt werden kann. In einigen anderen Fällen, namentlich bei einfachen Durchgangsinstrumenten, lässt sich das Instrument zwischen den Pfeilern umlegen, sodass die beim Hin- und Herfahren unvermeidlichen Stösse vermieden werden, dann sind aber die Bügel nach verschiedenen Seiten geöffnet.

[2]) Vergl. dazu die Bemerkungen Bessel's über die ungleiche Belastung der Pfeiler für den Fall, dass das Instrument nur an einem Axenende einen Kreis trägt.

[3]) Es wird thatsächlich immer nur einer der beiden Kreise zur Ablesung benutzt.

gekehrte Richtung gegeben werden, dass man das Licht durch den anderen Axentheil in den Kubus gelangen lässt, also die Lampe, wenn sie vorher dem Kreis A zunächst stand, dann auf der Seite des Kreises B anbringt.

Ich möchte damit diese Instrumente verlassen und übergehen zu der Anordnung, welche einige Jahre später PISTOR & MARTINS mit Benutzung der bisher gemachten Erfahrungen den von ihnen gebauten Meridiankreisen gaben.

c. Die Meridiankreise von PISTOR & MARTINS.

Der erste bekanntere Meridiankreis aus diesem Institute ist der sogenannte „Kleine Berliner Meridiankreis". Ohne dieses Instrument eingehender

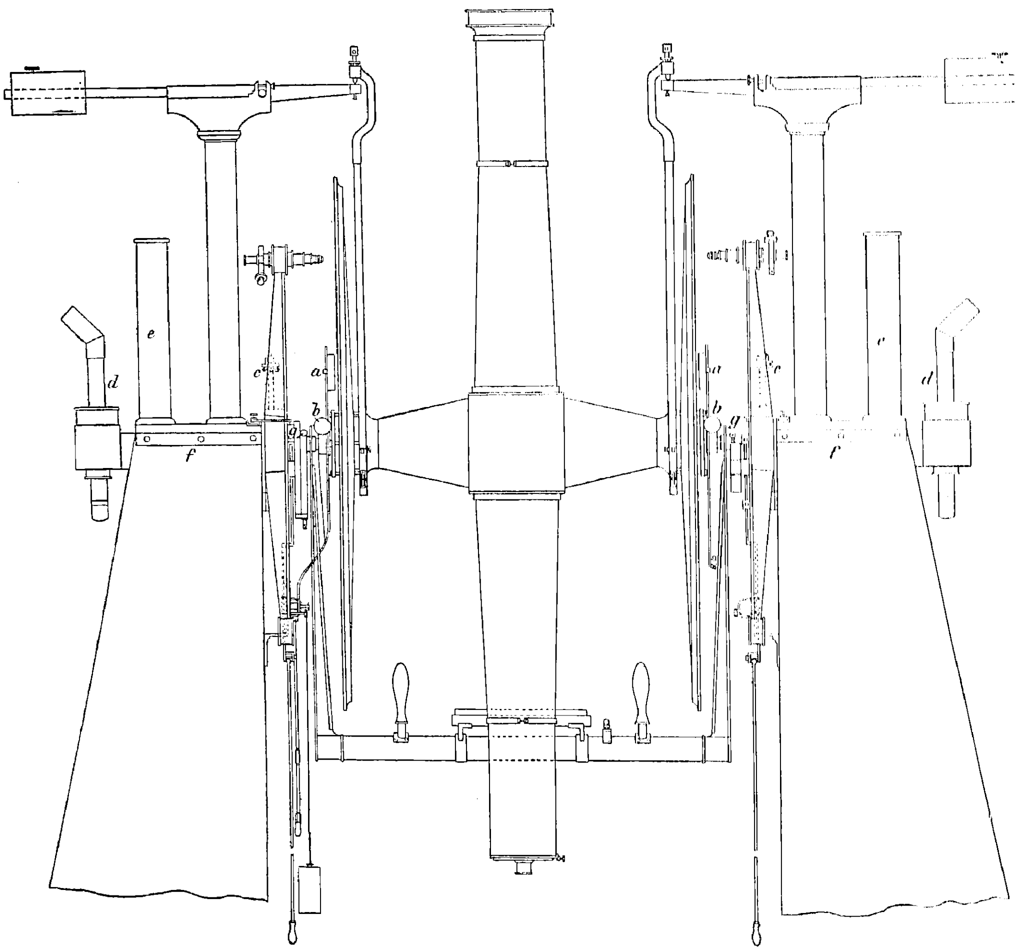


Fig. 923.

zu beschreiben, soll es hier nur in schematischer Zeichnung, Fig. 923, dargestellt werden.[1]) War auch hier schon die völlige Symmetrie des Baues

[1]) Die Figur ist dem I. Bande der „Beobachtungen auf der Königl. Sternwarte zu Berlin", Berlin 1840, entnommen. Das Instrument stammt allerdings schon aus dem Jahre 1838. Bestellt und projektirt wurde es in der nachmaligen Ausführung schon 1829. Bezüglich der eingehenden Beschreibung muss auf das Original verwiesen werden.

eine der Hauptbedingungen, so ist es namentlich die Anordnung der Mikroskope und der Klemme, welche diesen Typus von dem Repsold'schen unterscheidet, natürlich abgesehen von mannigfachen anderen Abweichungen. Die Mikroskope sind ebenfalls völlig frei von dem Instrumente an den Pfeilern befestigt, jedoch nicht an den Ecken eines stark versteiften Rahmens von

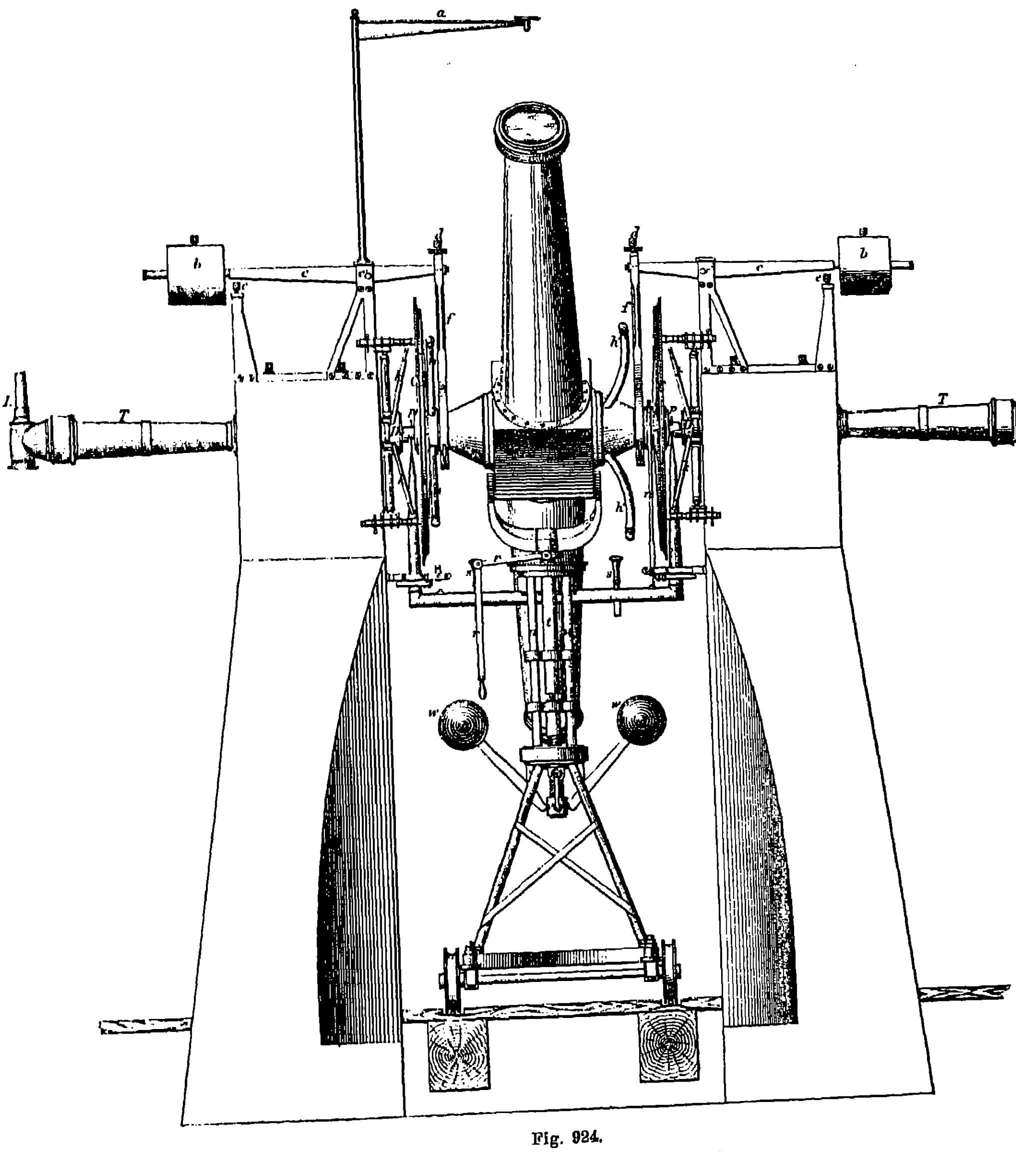


Fig. 924.
(Nach Washington Observations 1865.)

Röhren, sondern an den Enden einzelner Arme, welche nur an einem mittleren, das Lagerstück umgebenden Ringe mit dem Pfeiler in Verbindung stehen. Ihre Stellung wird bei dem Berliner Instrument noch durch ein Niveau kontrolirt, welches auf dem Mittelstück aufgesetzt ist. Die Arme sind bei diesem Instrument noch mit dem Ringe in einem Stück gegossen und von T-förmigem Quer-

schnitt, um möglichst viel Oberfläche zu bieten und eine durch die Schwere veranlasste Krümmung zu verhindern. Die Klemme sitzt nahe dem Zapfenende, dafür sind die Axen im Allgemeinen etwas gedrungener gebaut. Ich gebe sogleich zur instruktiven Vergleichung die Abbildungen zweier Meridiankreise, welche den erheblich vervollkommneten Bau der Pistor & Martins'schen Instrumente darstellen. Die Fig. 924, 925, u. 926 gehören zum Theil dem durch den Holländischen Astronomen F. Kaiser berühmt gewordenen Leidener Kreis an, zum Theil sind sie dem fast ganz gleichen, nur in seinen Dimensionen wesentlich grösseren Washingtoner Meridiankreis nachgebildet.[1]) Unter Innehaltung gleicher Bezeichnungen in den einzelnen Figuren mag Folgendes zur Erläuterung dieser wichtigen Form des Meridiankreises dienen: Zwischen zwei grossen monolithischen Steinpfeilern liegt die Axe des Instruments auf Lagern, welche zugleich mit der Scheibe für die Mikroskophalter in die Pfeiler eingegipst sind. Die beiden Axenkonen schliessen sich in der Mitte an den mit ihnen aus einem Stücke gegossenen, verhältnissmässig grossen Kubus an, an dem an zwei anderen Seiten die ziemlich stark konischen Hälften des Fernrohrs angeschraubt sind. Auf beiden Axenenden sitzen zunächst den Zapfen die beiden getheilten Kreise C, C, Fig. 924; von ihnen nach innen zu schliesst sich auf der einen Seite die Klemme n an, während auf der anderen Seite vier Handhaben h, h angebracht sind. Eben solche Handhaben h′, h′ befinden sich auf der ersten Seite näher am Kubus. An den Enden der Axenkonen greifen die Bügel f, f zur Äquilibrirung an, diese stützen sich oben durch die Schrauben d korrigirbar auf die kürzeren Arme der Hebel c, welche sich bei c′ um einen Zapfen drehen und an ihren längeren Hebelarmen die Gegengewichte b tragen. Zur Unterstützung der letzteren dienen besondere Ständer mit den Schrauben bei e. Die Lagerstücke D mit den Scheiben zur Aufnahme der Mikroskopträger und der Beleuchtungseinrichtung sind schon in Fig. 170 S. 149 abgebildet. Ihre nähere Einrichtung ist die folgende: In dem Pfeiler, wovon die Schraffirung bei A einen Theil zeigt, Fig. 926, und welcher eine Dicke von 0,41 Meter hat, ist eine horizontale, runde Öffnung gebohrt, worin das sehr starke, innen konisch ausgedrehte, Metallrohr B eingegipst ist. Dieses Rohr ist aus einem Stücke mit der starken, durchbohrten Scheibe C hergestellt, woran die Mikroskoparme geklemmt werden, und mit der höheren, ebenfalls durchbohrten Metallscheibe D, welche einen kleineren Durchmesser als C hat und das Zapfenlager trägt. Die Scheibe C ist an ihrem Umkreis schwalbenschwanzförmig ausgedreht und die Figur zeigt, wie der Mikroskoparm E an jeder beliebigen Stelle dieses Umkreises festgesetzt werden kann. Aus der dicken Scheibe D ist, an der Seite des Instrumentes eine runde Höhlung ausgedreht, in Fig. 926 durch a, b, c, d angedeutet, welche theilweise ausgefüllt wird von zwei eingeschraubten Segmenten s s, Fig. 170, zwischen welchen sich das starke Metallstück e verschieben lässt, woran das Zapfenlager u befestigt ist. Auf jeder Seite greift

---

[1]) Der Leidener Meridiankreis hat bei 6″ Öffnung eine Brennweite von 8 Fuss, während das Washingtoner Instrument bei einer Öffnung von 8″,5 eine Fokaldistanz von 12 Fuss besitzt. Vergl. Ann. der Sternw. zu Leiden, Bd. I.; Astronomical Observations made at the U. S. naval Observatory during the year 1865; ebenda 1874.

in dieses Metallstück eine starke Schraube, deren abgerundeter Kopf gegen den Rand der aus der Metallscheibe ausgedrehten Höhlung drückt.

In Fig. 926 bezeichnet G einen Theil des Kreises und ausserdem lässt dieselbe mit hinreichender Deutlichkeit erkennen, wie die Zapfen in ihren

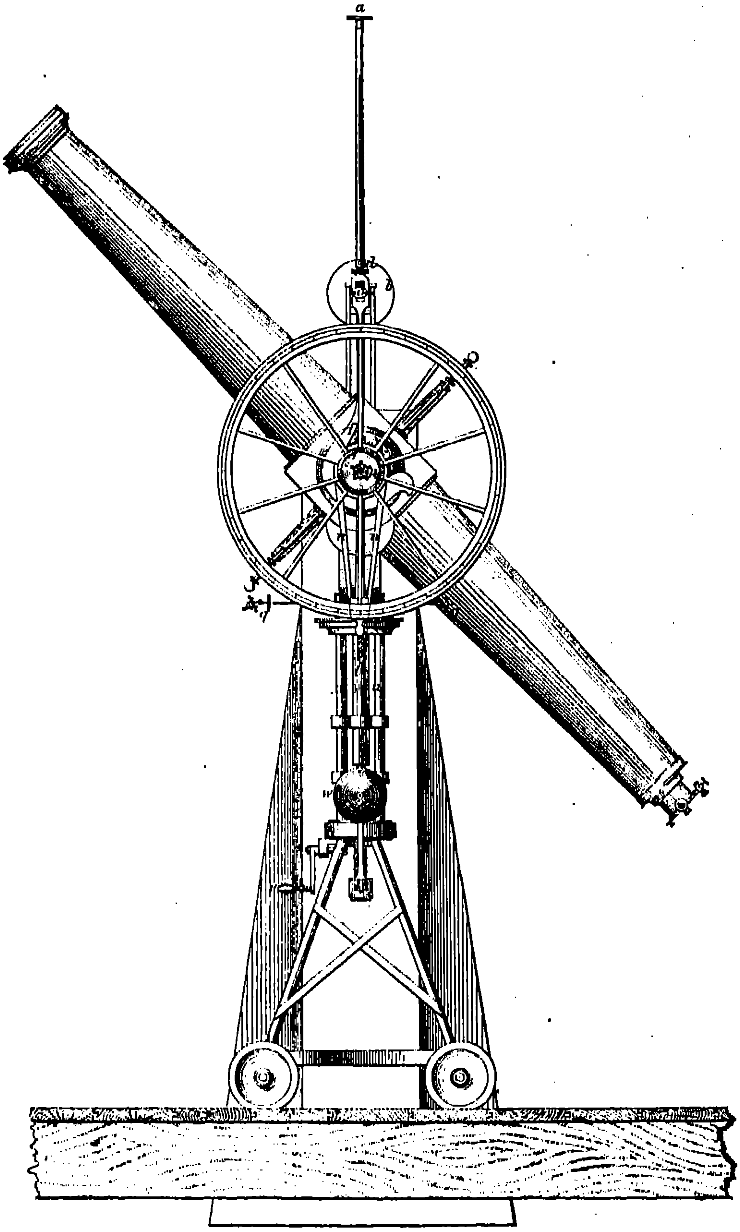


Fig. 925.
(Nach Washington Observations 1865.)

Lagern ruhen. Am westlichen Pfeiler stösst der Zapfen gegen einen festen, aber durch Klemm- und Druckschrauben verstellbaren Stahlring. Am östlichen Pfeiler wird ein Stahlring gegen das Ende des Zapfens durch zwei Spiralfedern

angedrückt, welche eine hinreichende Kraft haben, um das ganze Instrument auf seinen Lagern zu verschieben. So wird das Ende eines der Zapfen stets gegen den festen Stahlring am westlichen Pfeiler angedrückt. Um die Reibung zu verringern, hat die Endfläche des durchbohrten Zapfens eine Erhöhung, wodurch sie nur in einer Kreislinie den Stahlring berührt. Die Stahlringe laufen nach oben in umgebogene Federn aus, welche die Metallstücke der Zapfenlager berühren. Diese Federn verhüten, dass das Instrument beim Niederlassen auf die Zapfenlager oder auf die Metallringe stossen kann, indem es längs dieser Federn gleiten muss.

Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes und der Mikroskope erfolgt nun in der Weise, dass das Licht von der $1^1/_8$ m (in Leiden) vom Pfeiler entfernten Lampe L durch das Rohr T hindurch in die Ausbohrung des Lagerstückes B gelangt. Die mittleren Strahlen gehen durch zwei Glaslinsen und durch eine matte Glasplatte in das Innere des Instruments, werden dort in der gewöhnlichen Weise durch ein Glasprisma direkt in das Okularende geworfen und erleuchten das Gesichtsfeld. Das Licht der anderen Lampe wird ebenfalls im Kubus von einem Prisma aufgenommen, von dort aber zur Erleuchtung der Fäden im dunklen Felde auf kleine Prismen vor der Fadenplatte reflektirt. Durch

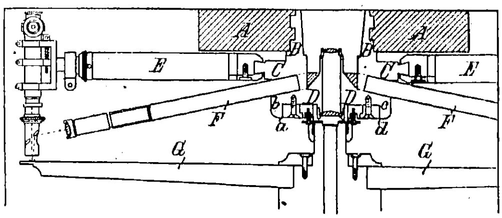


Fig. 926.
(Nach Ann. d. Sternw. zu Leiden, Bd. I.)

geeignete Einrichtung können in den Strahlengang Schirme zur Schwächung der Beleuchtung eingeschoben werden. Die äusseren Theile der von den Lampen kommenden Strahlenkegel dienen zur Beleuchtung der Mikroskope. Zu diesem Zweck sind in dem Rohre B, Fig. 926, noch 4 Prismen angebracht, durch welche die Lichtstrahlen in die Rohre F und durch diese vermittelst Sammellinsen auf die Blenden der Mikroskope geleitet werden. Die Mikroskopträger E sind an dem mit schwalbenschwanzförmiger Ausdrehung versehenen Rande des Ringes C einzeln angeklemmt. In ihnen bewegt sich ein cylindrischer Stab, welcher die Mikroskopfassung trägt. Dieser Cylinder kann durch den Klemmring bei i, nachdem den Mikroskopen die richtige Stellung ertheilt ist, festgestellt werden.

d. Die Meridiankreise von Greenwich, Capstadt und Paris.

Einen besonderen Typus der Meridiankreise stellen die beiden grossen Instrumente des Greenwicher Observatoriums und der Sternwarte am Cap der guten Hoffnung dar. Dieselben sind beide nach der Angabe G. B. Airy's von Ransomes und May gebaut; während ihre optischen Theile und Kreis-

theilungen von W. Simms ausgeführt wurden.[1]) Man ging bei ihrer Konstruktion davon aus, dass ein so grosses Instrument nur auf Kosten der Unveränderlichkeit seiner Aufstellung in zwei verschiedenen Lagen benutzt werden könne, und dass man alle Einrichtungen für Ablesung des Kreises, der Beleuchtung und mancher anderer Dinge viel sicherer und in grösserer Vollständigkeit ausführen könne, wenn dieselben einer einseitigen Benutzung des Instrumentes angepasst würden. Die Einrichtung des Greenwicher Kreises, der in dem Jahre 1850 aufgestellt und im nächsten Jahre in Benutzung genommen wurde und mit dem bis auf den heutigen Tag — ohne wesentliche Abänderungen — die Greenwicher Fundamentalbeobachtungen ausgeführt werden, findet sich an der Hand sehr detaillirter Abbildungen in den Jahrgängen 1852 und 1867 der „Greenwich Observations“[2]) eingehend beschrieben. Den dortigen Angaben ist im Wesentlichen auch das Nachfolgende entnommen.

Die Fig. 927 stellt die Gesammtansicht des Kreises perspektivisch dar. Zwischen den beiden ungleich eingerichteten Pfeilern, von denen der westliche zur Aufnahme der sechs Mikroskope und ihrer Beleuchtungseinrichtungen durchbohrt ist, liegt das Instrument so, dass seine Axenzapfen noch weit in Höhlungen der Pfeiler hineinragen und dort erst auf den Zapfenlagern ruhen. Das Fernrohr hat eine freie Öffnung von 8 engl. Zoll (203 mm) bei einer Brennweite von 12 Fuss (3,657 m), so dass das Verhältniss von Öffnung zur Brennweite den Wert von 1 : 18 hat. Die Länge der Axe beträgt zwischen den Zapfenenden 6 Fuss (1,83 m). Die Axe des Instrumentes ist ganz von Gusseisen und besteht aus zwei gleichen Hälften, wie die Fig. 929 sofort erkennen lässt. Diese sind in der Mittellinie des Kubus mit einander fest verschraubt. Die Zapfen selbst haben einen Durchmesser von 6 Zoll (152 mm) und sind beide durchbohrt, um nach der auf S. 288 beschriebenen Methode eine Untersuchung ihrer Form zu ermöglichen. Das zu dieser Untersuchung nöthige Fernrohr kann, wie die Fig. 928 bei v erkennen lässt, auf zwei Lager, von denen das eine in der Höhlung des Pfeilers, das andere in der Umfassungsmauer des Meridiansaales befestigt ist, aufgelegt werden. Das eine Axenende trägt nahe dem Kubus den getheilten Kreis s, Fig. 931, von 6 Fuss (1,83 m) Durchmesser, während auf der entsprechenden gegenüber liegenden Seite des Kubus ein zweiter, nahe gleich grosser Kreis l aufgesetzt ist, welcher zum Befestigen der Klemm- und Feinbewegungseinrichtungen dient. Einzelheiten der Konstruktion sind aus den Fig. 928 (Grundriss des Instruments- und des Beobachtungsraumes), Fig. 929 (Ansicht der Pfeiler mit Äquilibrirungseinrichtung und Quecksilberhorizont, von Süden), Fig. 930 (Darstellung der Lagerung und der für die Kreisablesung nöthigen Einrichtungen, horizontaler Querschnitt), Fig. 931 (Querschnitt des Fernrohres, der Horizontalaxe und der optischen Theile) zu ersehen.[3]) Mit Bezug auf die beigebrachten Figuren bedeuten in Fig. 928 A bis E Eingänge in den Beobachtungsraum

[1]) 1891 wurde das Objektiv des Greenwicher Instruments neu polirt.

[2]) Ausserdem ist bekanntlich jedem Jahrgange dieser Publikationen eine kurze Beschreibung der im Gebrauch befindlichen Instrumente als Einleitung vorgesetzt.

[3]) Bezüglich weiterer Details muss auf die Original-Publikationen verwiesen werden.

von verschiedenen anderen Räumen der Sternwarte; I sind Fenster; J und K Theile von Jalousien für die Spaltverschlüsse; L bis U Klappentheile und Einrichtungen zum Öffnen und Schliessen; W Stützen für das Dach; rechts der Westpfeiler; links der Ostpfeiler, beides Monolithe; Y[1] Mauerwerk, welches

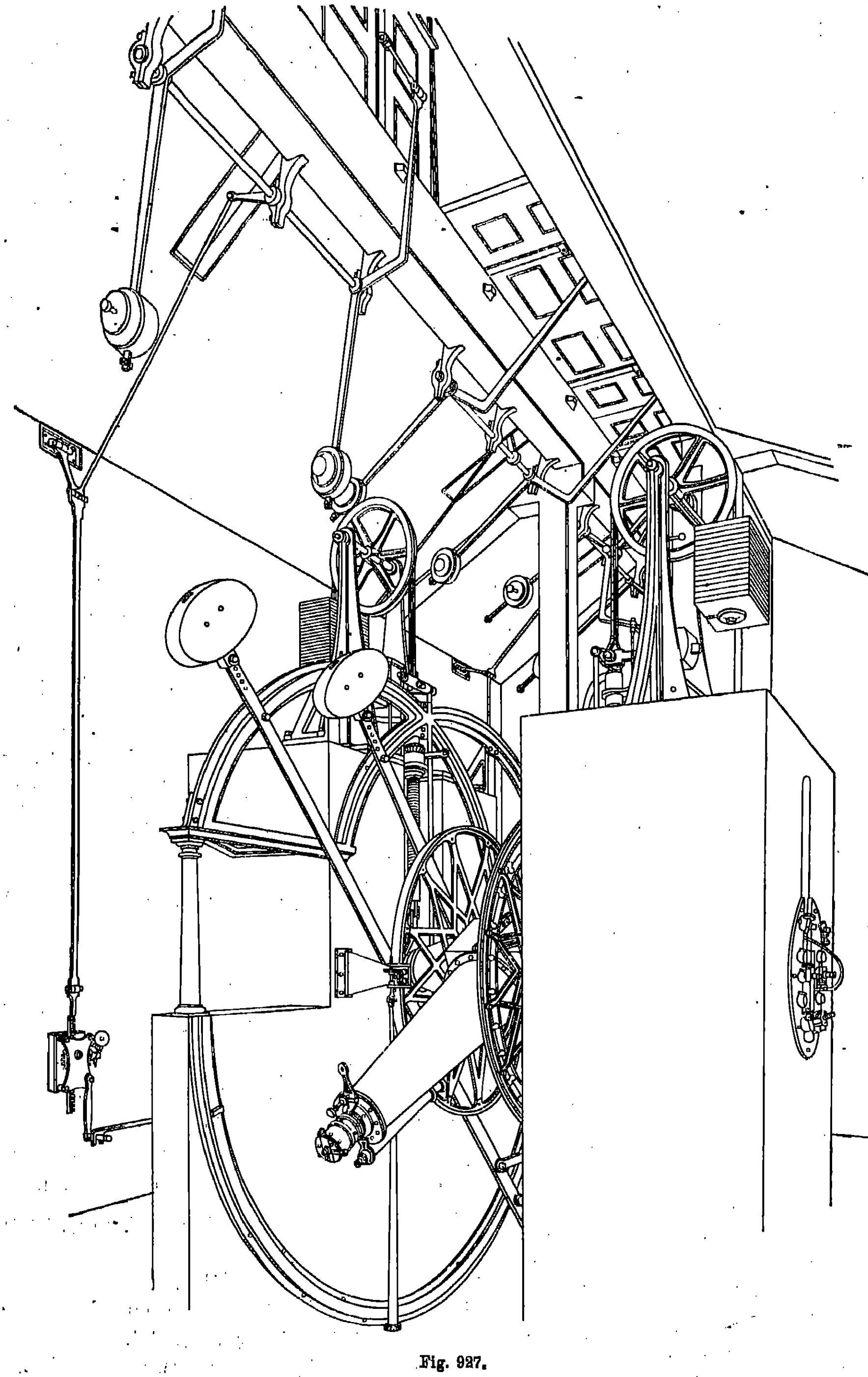


Fig. 927.

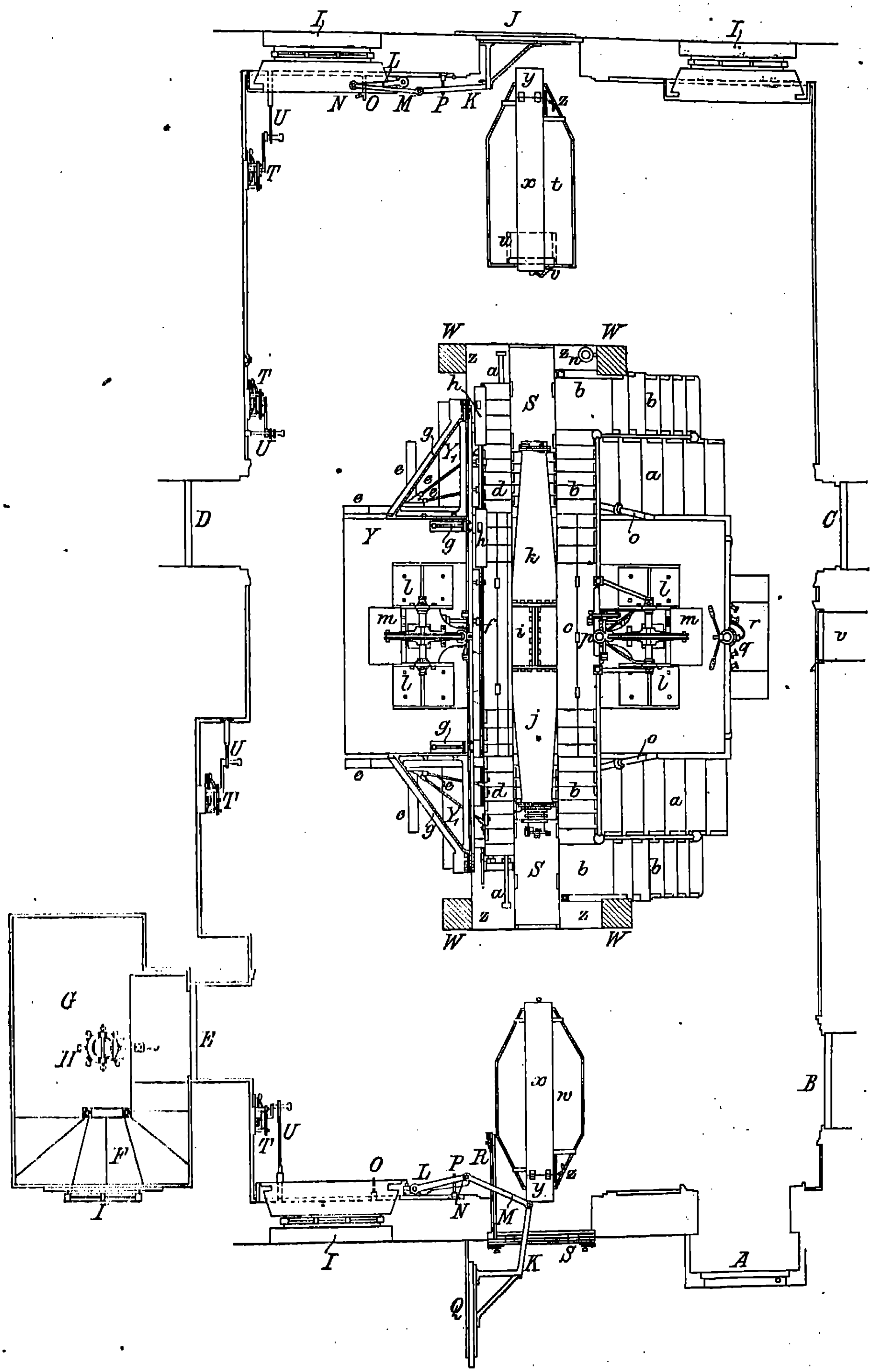


Fig. 928.

sich an den Ostpfeiler anschliesst, um die Einrichtung für den Quecksilberhorizont zu tragen; S Theile der zwischen den Pfeilern befindlichen Vertiefungen für Beobachtung in kleiner Zenithdistanz und zur Aufnahme der dazu nöthigen Treppen. a b, c, d, e, f, r, s sind Treppen, welche zum Beobachten in den verschiedenen Höhen dienen, g eiserne Gestelle zur Befestigung der grossen Bogen, welche den Quecksilberhorizont und seine Gegengewichte h h tragen und führen; i ist der Kubus des Fernrohres[1] (vergl. Fig. 929); j das Okular- und k das Objektivtheil; l, l sind die Ständer für die die Ketten

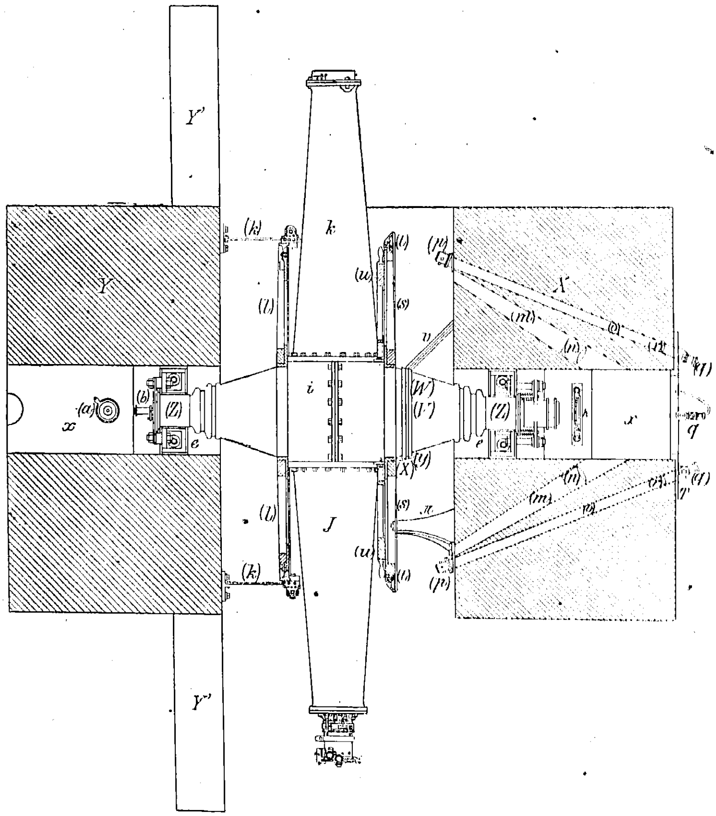


Fig. 929.

der Gegengewichte m führenden Rollen; n bis q Gaslampen mit ihren Kaminen zur Beleuchtung von Uhr, Mikroskopen und Kreis; t ist der Pfeiler für den Süd- und w der für den Nord-Kollimator.[2])

Die Bezeichnungen der einzelnen Theile in den Fig. 929 u. 930 sind übereinstimmend, bezüglich näherer Erläuterung muss hier aber, so weit erforderlich, auf das Original verwiesen werden.

[1]) Die auf das Instrument selbst bezüglichen Bezeichnungen sind in allen Figuren dieselben.

[2]) Da später die Kollimationseinrichtung geändert wurde (siehe oben), entsprechen die in den Figuren dargestellten Anordnungen nicht mehr genau den jetzt im Gebrauch befindlichen.

Ein Instrument von ähnlich grossen Dimensionen und ebenfalls auf dem Princip des Nichtumlegens beruhend ist das von W. Eichens in den Sécretan'schen Werkstätten Mitte der 60er Jahre erbaute. Fig. 932 stellt diesen Meridiankreis dar. Das Instrument ist zwischen zwei ungleichen monolithischen Pfeilern aus Granit aufgestellt, welche ihrerseits auf einem gemauerten Grundblock von 2 m Dicke und 5 m Höhe ruhen.

Die beiden Pfeiler stehen an ihrer Innenfläche um 1,3 m auseinander; der östliche ist nahezu 1 m höher als der westliche[1]) und für das in ihm

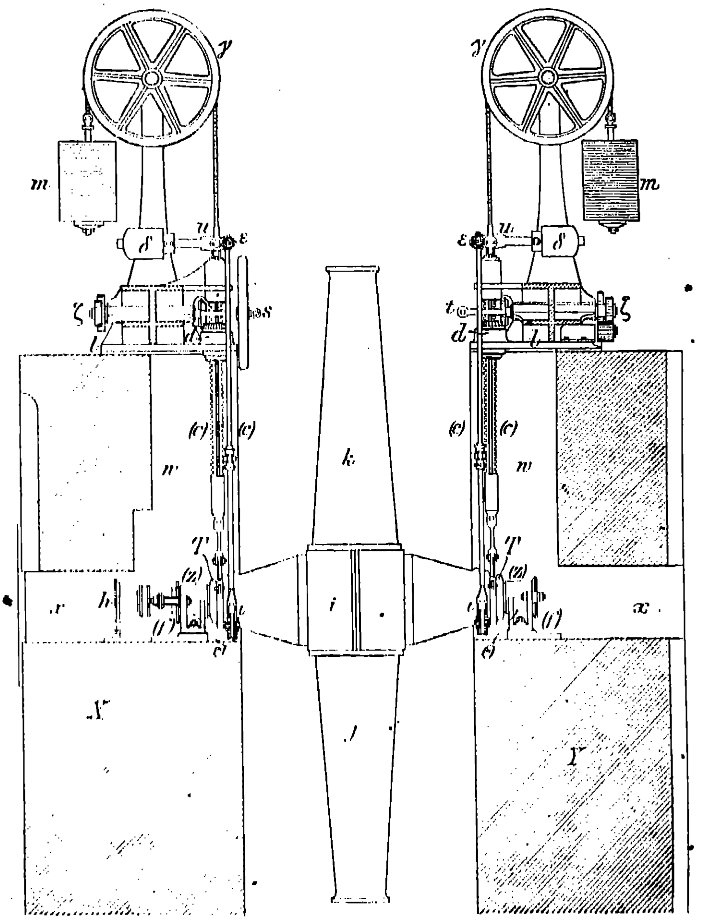


Fig. 930.
(Nach Greenwich Observations 1852.)

gelagerte Zapfenende durchbohrt, während der westliche Zapfen auf der Oberfläche des Pfeilers in seinem Lager ruht. Das von Sécretan verfertigte Objektiv hat eine freie Öffnung von 236 mm bei einer Fokallänge von 3,852 m. Es ist in einer besonderen Fassung angebracht und nur durch einen Ring mit dem Rohre selbst in Verbindung.

Rohr, Axe und Kubus sind ganz aus Gusseisen hergestellt (wie in Greenwich), an dem letzteren sind die beiden konischen Rohre durch Schrauben befestigt,

[1]) Auch hier ist also die Symmetrie zu Gunsten der festen Aufstellung bei Seite gesetzt.

während die Axenkonen aus einem Stück mit je einer Hälfte des Kubus gegossen sind. Die Länge der beiden Rohrstücke[1]) ist ungleich; das für das Objektiv ist 14 cm länger. Der Kubus ist an zwei Seiten für die Durchsicht mit den Kollimatoren durchbrochen, und die Öffnungen sind durch besondere Klappen verschlossen.

Die Axenenden laufen beiderseits zunächst in zwei starke Zapfen von Gussstahl aus, welche in geschlossenen Lagern von Bronce ruhen, die die nöthigen Korrektionsschrauben für Neigung und Azimuth besitzen; der östliche Zapfen setzt sich durch die Bohrung des Pfeilers hindurch fort und trägt an der Aussenseite desselben den Kreis für die Zenithdistanzen.

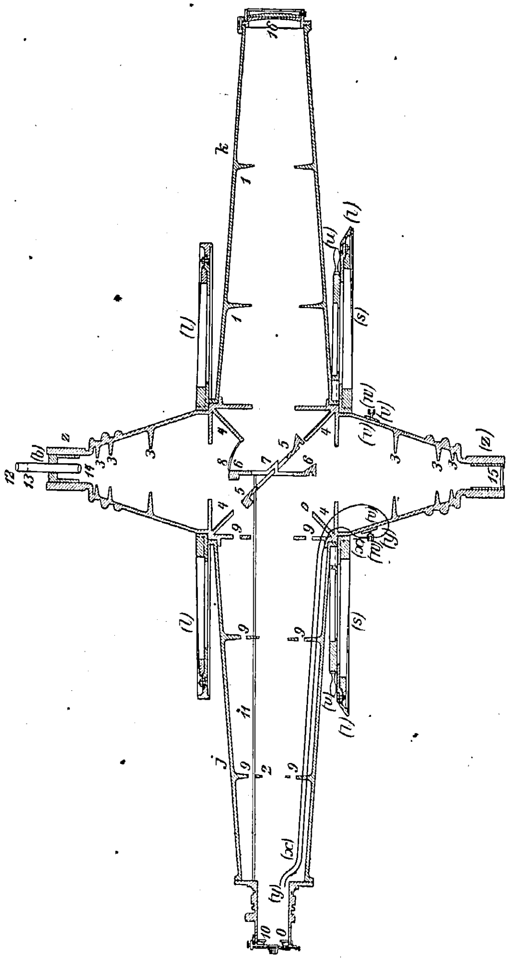


Fig. 931.
(Nach Greenwich Observations 1852.)

Die Äquilibrirung wird durch je zwei Rollen bewirkt, die an dem kurzen Ende je eines an den Pfeilerflächen entlang laufenden Hebels sitzen, dessen längerer Arm durch Gewichte herabgedrückt wird. Ausser dem getheilten Kreis trägt das östliche Axenende innerhalb der Pfeiler noch einen zweiten Kreis aus Gusseisen von 1,20 m Durchmesser, welcher für grobe Einstellung, Klemmung und Feinbewegung benutzt wird; gleichzeitig soll er dem äusseren als Gegengewicht dienen. Der äussere, mittelst 6 Mikroskope ablesbare Kreis ist aus Bronceguss und auf einem Silberstreifen von 5 zu 5 Minuten direkt getheilt; der Durchmesser desselben ist 1 m. Die 6 Mikroskope sind, wie die Figur erkennen lässt, an der äusseren Seite des östlichen Pfeilers auf besonderen Gestellen befestigt, welche in den Pfeiler verbolzt sind. Damit bei Temperaturschwankungen die Theilfläche immer im gleichen Abstande von der Fadenebene der Mikroskope bleibt, sind zur Kompensation die Gestelle von Eisen und die Mikroskoprohre von Bronce gemacht und die Befestigungsstelle der letzteren dem Ausdehnungskoefficienten beider

[1]) Um durch das Abdrehen und Bearbeiten keine Spannungen in den Rohren hervorzubringen, sind dieselben im rohen Gusszustande verblieben.

Metalle entsprechend gewählt; gegen das Westende der Axe drückt eine starke Feder, welche ein sicheres Anliegen des Ostendes an einer senkrechten, den Zapfen umgebende ebene Platte bewirkt und dadurch die Axe bezüglich einer Ost-West-Verschiebung sichert. Durch das durchbohrte Westende der Axe hindurch wird die Beleuchtung des Gesichtsfeldes sowohl als auch die der Fäden im dunklen Felde erzielt. Das Mikrometer besitzt sowohl in Rektascension als in Deklination feste und bewegliche Fadensysteme, ist aber sonst von gewöhnlicher Konstruktion.

Es ist kein Zweifel, dass nach den heute geltenden Beobachtungsprincipien die eben beschriebenen Meridiankreise trotz ihrer gewaltigen Dimensionen und sinnreichen Ausführung nicht mehr auf der Höhe der Zeit stehen. Diesem Umstande hat man in Paris auch Rechnung getragen, und durch die Munificenz des Herrn von Bischoffsheim besitzt das Observatorium auch einen neuen Meridiankreis mit einer Öffnung von 190 mm und 2.324 m Brennweite; ebenfalls von Eichens gebaut, der der Forderung der Symmetrie und der Umlegbarkeit in mancher Beziehung entspricht, wenn auch die Ablesung der Zenithdistanzen nur auf einer Seite erfolgen kann, da die dazu dienenden 6 Mikroskope ebenfalls nur dem in dem höher geführten Theile des Ostpfeilers befestigt sind.[1]) Dieser aus Marmor bestehende Pfeileraufsatz ist 60 cm höher als ein ähnlicher des Westpfeilers, Fig. 933; er trägt den sogenannten Zenithkollimator und wie der westliche ein Lager für die Horizontalaxe des Instruments. Die Äquilibrirung ist derjenigen des grossen Meridiankreises sehr ähnlich. Dasselbe gilt auch von dem Körper des ganzen Instrumentes, Rohr, Kubus und Axenkonen, nur ist hier das Okularende etwas länger als das Objektivende, während zur Vermeidung der Biegungen auf M. Loewy's Anordnung dem aus Gusseisen bestehenden Kubus von 60 mm Seitenlänge und den Rohren eine Dicke von 11 mm gegeben worden ist, welche sich nach den Untersuchungen der Pariser Astronomen sehr gut bewährt hat.[2])

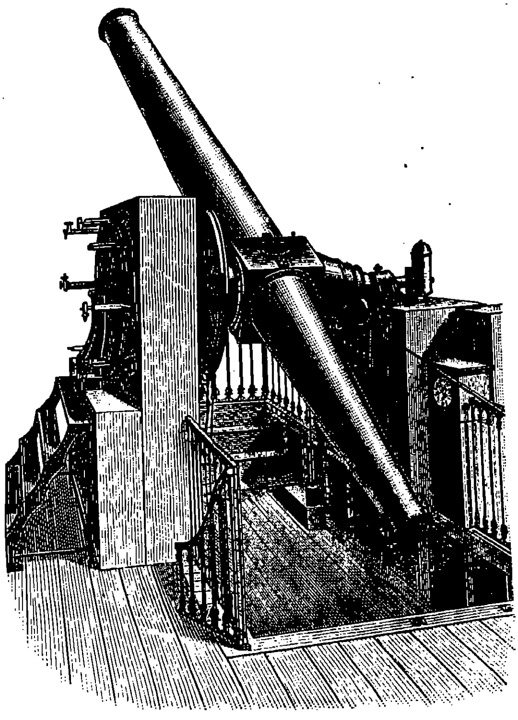


Fig. 932.

[1]) Die Pfeiler sind ganz ähnlich dem des grossen Meridiankreises gestaltet.

[2]) Vergl. die ausführlichen Arbeiten Loewy's in den Annales de l'Observatoire de Paris (Memoires) XVI. C. 1, auch Bull. Astron. VI.

Die beiden gleichen von 5° zu 5 Minuten auf Silber getheilten Kreise aus Bronceguss stehen zu beiden Seiten des Kubus an den Enden der beiden Axenkonen gleich weit von der Mittellinie des Instrumentes ab. Zwischen den getheilten Kreisen und dem Kubus befindet sich noch je ein mit starken radialen Stützen versehener Kreis aus Gusseisen, an welchen die Klemmung und Feinbewegung angreift und der zum Zwecke der Einstellung eine Reihe von Handknöpfen trägt. Es wird dadurch erreicht, dass die ersteren Manipulationen möglichst nahe der Gesichtslinie zu Stande kommen und so einer etwaigen Torsion der Axe vorgebeugt wird. Die Mikroskope durchsetzen den Pfeiler, ähnlich wie in Greenwich, in schiefer Richtung, so dass ihre Okulare möglichst nahe zusammen zu liegen kommen, was ihre Ablesung erleichtert. An demselben Pfeileransatz befindet sich noch ein kleines siebentes Mikroskop zur rohen Einstellung des Kreises in Zenithdistanz und auf demselben ist das Gestell für einen sinnreichen Zenithkollimator angebracht. Die Fig. 933 lässt denselben erkennen; er erscheint dort zur Seite gedreht, beim Gebrauch wird das um eine Vertikalaxe drehbare Fernrohr mit grossem Objektivprisma, dessen eine Kathetenfläche nach unten gewendet ist, senkrecht über das nach dem Zenith gerichtete Fernrohr gebracht. Bei Beleuchtung des Fadennetzes wird vermöge eines an Stelle des Okulars angebrachten kleinen Spiegels das Bild der Fäden reflektirt, und es kann dann nach Umlegen des Instrumentes sowohl Zenithpunkt als auch Kollimation und Neigung unter der Voraussetzung der Unveränderlichkeit des Zenithkollimators[1]) bestimmt werden. In Verbindung mit den vorhandenen Miren und dem Quecksilberhorizont ist auf diese Weise eine gute Kontrole der Instrumentalkonstanten möglich. Die Umlegung wird durch den in Fig. 933 sichtbaren Umlegebock bewirkt, da diese aber verhältnissmässig selten ausgeführt wird, so ist der letztere auch zum Tragen der Nadirtreppe eingerichtet.

Ein diesem Kreise ähnlicher, nur von etwas grösseren Dimensionen, ist von M. M. Brunner frères in Paris für das von Bischoffsheim'sche Observatorium in Nizza gebaut worden; bezüglich dessen näherer Beschreibung ist aber hier auf das zu verweisen, was Lt. Winterhalter in seinem Bericht über den internationalen Astrophotographischen Kongress zu Paris beigebracht hat, da dessen Mittheilung hier zu weit führen und auch eine Reihe von Wiederholungen veranlassen würde. Mit Übergehung einiger Zwischenformen für den Meridiankreis, wie sie von Ertel[2]), Troughton & Simms[3]) und den Repsold's[4]) ausgeführt worden sind, gehe ich sofort zur Beschreibung derjenigen Form der Meridiankreise über, welche letztere Werkstätte in neuerer Zeit denselben zu geben pflegt, wie sie die Kreise von Wilhelmshaven, Strassburg, München, Ottakring, Mt. Hamilton etc. aufweisen und wie sie für fast alle anderen Werkstätten vorbildlich geworden ist. Aus dem reichen

[1]) Ob diese allerdings in genügender Weise gesichert ist, bleibt dahingestellt.

[2]) Z. B. in New-Haven (das frühere Washingtoner Instrument); Christiania 4″ Öffnung u. s. w.

[3]) Dunecht 8″,6 Öffnung, Pola 6″ Öffnung und Andere.

[4]) Der Weg, auf den die Repsolds zu ihrer heutigen Form gelangt sind, lässt sich verfolgen an den Instrumenten zu Anapolis, Cambridgeport, Wilhelmshaven, Moskau etc.

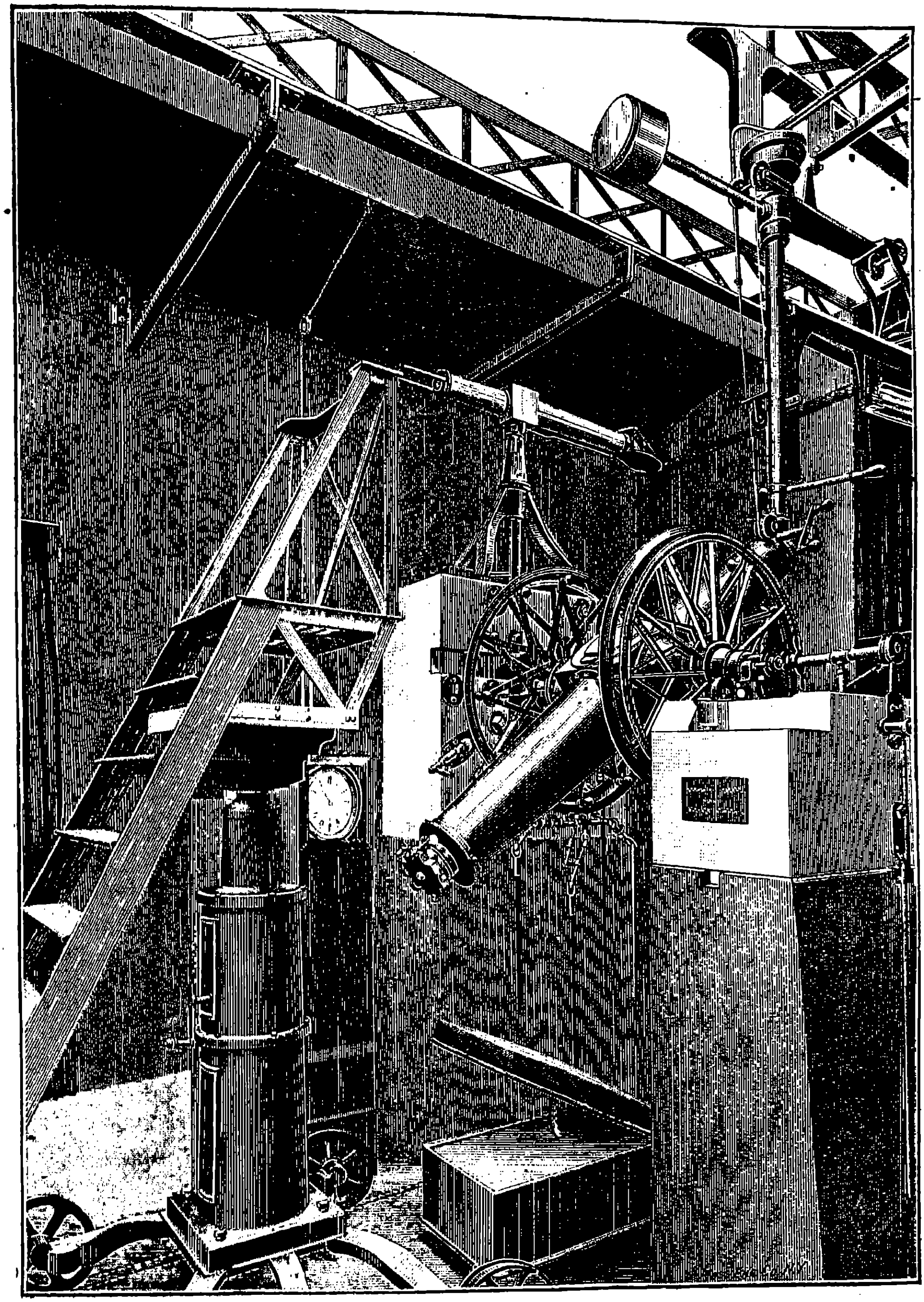


Fig. 933.

(Nach Winterhalter, The Astrophotogr. Congress etc.)

Material von Abbildungen, welches ich durch die Freundlichkeit der Herren REPSOLD besitze, werde ich den Meridiankreis der von Kuffner'schen Sternwarte in Wien als einen der kleineren Instrumente und die von Strassburg und München als die grössten ihrer Art zur Darstellung bringen.[1]). Das dem Bau dieser Instrumente zu Grunde liegende Princip ist in wenigen Worten dahin auszusprechen: volle Symmetrie in Bau und Aufstellung und Fernhalten aller störenden Einflüsse auf Fernrohr und Kreise, namentlich soweit ungleiche Einwirkung für Ost- und West-Seite oder für Objektiv und Okulartheil zu fürchten sein würde.

e. Die neuen Repsold'schen Meridiankreise der Sternwarten zu Wien-Ottakring, Strassburg und München.[2])

Auf den von unten aus Ziegelsteinen aufgemauerten Pfeilern P P des Wiener Instruments, welche isolirt durch den Fussboden des Beobachtungsraumes hindurchgehen, sind auf Sandsteinblöcken die eisernen Rahmenlager Q Q aufgegipst, auf diesen ruhen die trommelähnlich gestalteten durchbrochenen Lager und Mikroskopträger T T, welche in Fig. 172 von der Seite des Instruments und in den Fig. 934 u. 935 mit dem Meridiankreis zugleich dargestellt sind. Dieselben sind auf der äusseren Seite ganz offen, während die innere durch einen von 6 Speichen b gehaltenen centralen Ring geschlossen wird, welcher seinerseits zur Aufnahme der Zapfenlagerplatte e_3 dient.

Um diese Trommeln genau in die richtige der Axenlänge entsprechende Entfernung bringen zu können, sind dieselben mittelst besonderer Korrektionsschrauben in der Ost-West-Richtung gegen die Untersätze Q verstellbar. Der Zweck dieser Trommeln ist der, dass die Kreise des Instruments in ihren unteren Theilen nicht den Pfeilern gegenüberstehen, während sie in ihren oberen dem Einflusse derselben nicht mehr ausgesetzt sind, sondern dass denselben ihrer eigenen Form entsprechende Aufsätze, welche schon 10 cm unterhalb der tiefsten Punkte der Kreise ihr Ende erreichen, gegenüberstehen. Zur Orientirung der Axe im Azimuth ist jede Trommel ausserdem noch durch die 4 Schrauben β in diesem Sinne gegen Q verschieb- und klemmbar, während die Neigung der Axe durch die ebenfalls an jeder Trommel angebrachten vertikal wirkenden Korrektionsschrauben γ berichtigt werden kann.[3]) Die beiden starken Endringe dieser Trommeln sind an ihren äusseren Flächen gut abgedreht und dienen zur Befestigung der 4 langen Mikroskope M auf jeder Seite, welche Einrichtung oben auf S. 150 schon näher beschrieben ist. Ausserdem dienen die Trommeln auch zur Stütze für die zur Äquilibrirung des Instruments nöthigen Gegengewichte D mit ihren Hebeln C, die bei E in der inneren Stütze auf einer Schneide ruhen. An den kurzen Enden dieser Hebel greift die Stange A mit den Haken für die Friktionsrollen an, in u_1

---

[1]) Ein näheres Eingehen auf die Geschichte der Meridiankreise ist hier nicht möglich, ich behalte mir das für eine spätere Gelegenheit vor.

[2]) Ich folge bei der Besprechung dieses Instruments im Wesentlichen der von Dr. N. Herz im I. Bande der Publ. der v. Kuffner'schen Sternwarte gegebenen Beschreibung.

[3]) Vergl. auch Kapitel Axen, S. 291.

durch eine Schraube in Länge korrigirbar. An diesen Haken ist unten eine Öse angebracht, in die eine Kette eingehängt werden kann, um beim Umlegen des Instruments den Zug der Gegengewichte aufzunehmen, da sie mit ihrem anderen Ende unten an der Pfeilerumhüllung befestigt ist. Es hat diese Einrichtung, die jetzt allgemein angewendet wird, den Zweck, eine Biegung der mit den Gegengewichten schwer belasteten Pfeiler zu vermeiden, die leicht bei der Hebung des schweren Instruments durch die dann allein nach aussen ziehenden Gewichte hervorgebracht werden kann. Die Bügel N′ sollen nur den Zug der Kette zu einem vertikal wirkenden machen. Das Instrument selbst besteht aus dem Kubus W, an welchen sich an zwei Seiten

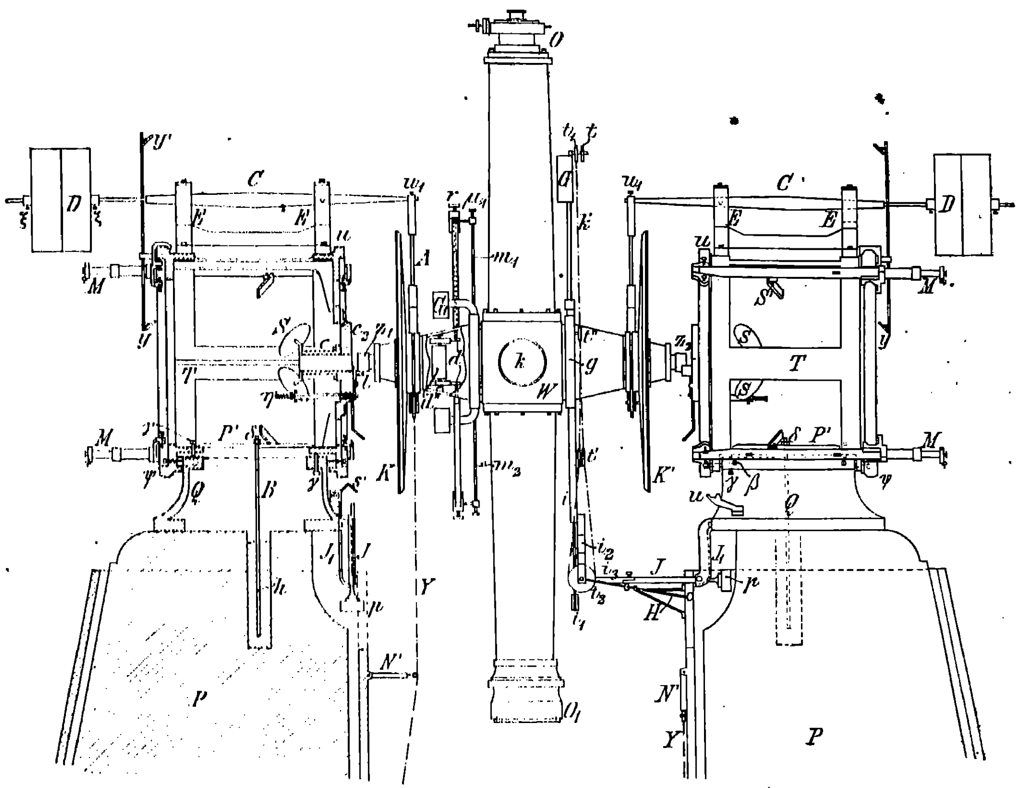


Fig. 934.
(Nach „Publ. d. v. Kuffner'schen Sternwarte", Bd. I.)

die Axenkonen in der gebräuchlichen Weise direkt ansetzen und an den auf zwei anderen Seiten die sehr wenig verjüngten beiden Fernrohrtheile aufgeschraubt sind, während die übrigen beiden Seiten mit verschliessbaren Öffnungen k, behufs Durchsicht nach dem Kollimator, durchbrochen sind.

Die Axenkonen tragen zunächst dem Kubus auf der einen Seite den Klemmring g, an welchen die Schraube für die Feinbewegung angreift; diese ist so eingerichtet, dass durch einen Schnurlauf über die verschiedenen Rollen t_1, t_2, t', t'' dieselbe auch bei Nadirbeobachtungen leicht benutzt werden kann. Die Verbindung der Klemme mit den Lagerträgern Q geschieht durch die zwischen den Armen J_1 mit Spitzenschrauben laufenden, trapezförmigen

Rahmen J, welcher durch das kleine Gegengewicht p so äquilibrirt ist, dass er keinen Druck auf das Instrument ausüben kann. Die Sicherung der Axen bezüglich ihrer Lage in der Ost-Westrichtung wird durch zwei kleine Anschlaghebel herbeigeführt, welche durch die die Lagerplatten durchsetzenden Federstifte η angedrückt werden.[1]) Von den Zapfen ist nur der eine zum Durchlassen des Lichtes durchbohrt. Der eine Axenkonus enthält die Einrichtung zur Moderirung der Feldbeleuchtung. Es dient dazu ein in der Axe befindlicher Rahmen, in welchem ein engmaschiges Drahtnetz aufgezogen ist. Ist die Ebene dieses Drahtnetzes senkrecht auf den Strahlengang, so gelangt das Licht so weit gedämpft ins Auge, dass bei hellem Felde noch

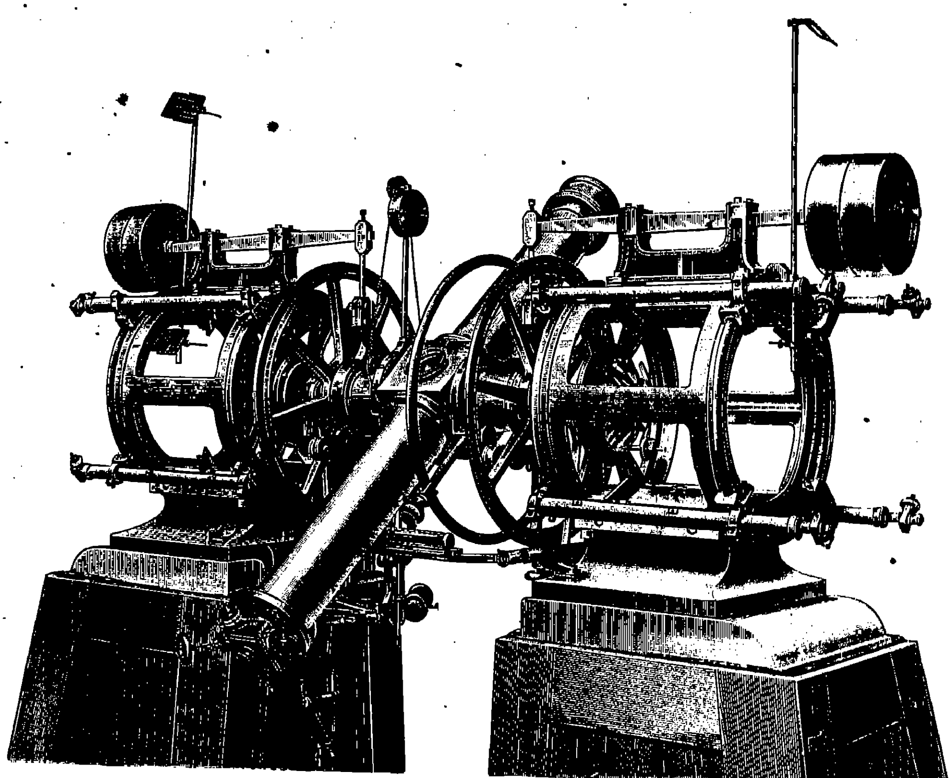


Fig. 935.

Sterne neunter Grösse gesehen werden können. Dreht man den Rahmen, so wird durch die schiefe Stellung der Maschen Licht abgehalten, daher die Beleuchtung matter, bis nach einer Drehung um 90° der Rahmen selbst das ganze durch die Axe kommende Licht auffängt. Zum Zwecke der Handhabung der Moderationsvorrichtung von aussen sitzt der Rahmen oben und unten auf je einem Sektor, welcher durch ein Viertheil der Peripherie eine Verzahnung hat, in welche die Zähne der Triebe d eingreifen, die von aussen mittelst der Knöpfe r gedreht werden können. Zahn und Trieb sind so gewählt, dass einer ganzen Umdrehung des Triebes eine viertel Umdrehung des Rahmens entspricht.

[1]) Ganz ähnlich wie eine gegen einen Federstift wirkende Feinbewegungsschraube.

Das von den auf beiden Seiten der Pfeiler aufzustellenden Lampen in das Instrument gesandte Licht geht, nachdem es die eben beschriebene Einrichtung passirt hat, nach zwei im Kubus angebrachten kleinen Spiegeln σσ, Fig. 936, von da nach einem auf der Rückseite des Objektivs aufgekitteten kleinen Spiegel, welcher es in das Okular gelangen lässt. Sollen jedoch die Fäden hell auf dunklem Grunde erscheinen, so werden die mittleren Spiegelchen durch den sie tragenden Rahmen r r um 180° gedreht. Die Bewegung geschieht durch die Griffstange m_2 m_1, (μ_1, in Fig. 934) welche neben der Triebstange r für die Helligkeitsveränderung aus dem Axenkonus heraustritt. Das Licht fällt dann auf zwei unter 45° zur optischen Axe geneigte Spiegel vor der Fadenplatte, welche es wieder von der Okularseite auf die Fäden werfen und diese im dunklen Felde mit diffusem Licht leuchtend erscheinen lassen. Weiter nach aussen folgen dann auf den Axenkonen die Ringe, welche die Führung der Friktionsrollen bilden und an diese schliessen sich direkt die beiden Kreise von je 55 cm Durchmesser an. Der auf dem die Beleuchtungseinrichtung tragenden Konus sitzende Kreis K ist von zwei zu zwei Minuten getheilt und durchlaufend von 0 bis 360 beziffert, während der andere sonst ganz gleiche Kreis K′ keine Theilung trägt. Die Ablesung geschieht durch die schon mehrfach erwähnten Mikroskope M; während für die grobe Einstellung ein weiteres Mikroskop längs des Pfeilers auf zwei mit der Trommel T Q in Verbindung stehenden Armen u liegt, welches zugleich zur Ablesung der Bezifferung des Kreises am Index dient; vergl. Fig. 309. Einer Verschiebung in der Richtung des Rohres ist dadurch vorgebeugt, dass sich ein an dem Rohre befindlicher Stift in einem Ausschnitt des an der Grundplatte Q befestigten Lagers einschiebt. Durch zwei über einander befindliche Prismen, deren Hypotenusenflächen sich kreuzen, werden die optischen Axen dieses Doppelmikroskopes nach dem Kreis gerichtet und man kann von beiden Seiten aus einen Theilstrich scharf auf den als Index dienenden Faden des Ablesefernrohrs einstellen. Wenn das eine Prisma für Kreis Ost, das andere für Kreis West rektificirt ist, wird man nur selten in die Nothwendigkeit versetzt, nach dem Umlegen des Meridianfernrohrs und dem danach nothwendigen Umsetzen des Ablesefernrohrs, dieses nachzurektificiren. Zwei unveränderliche Ablesefernrohre (auf jeder Seite eines) wären wohl vorzuziehen.

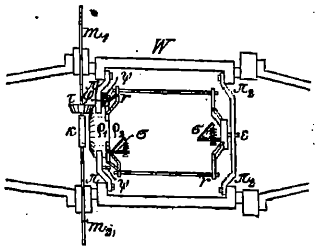


Fig. 936.

In ganz ähnlicher Weise sind auch die grösseren Repsold'schen Meridiankreise eingerichtet. Fig. 937 stellt den der Strassburger Sternwarte dar. Prof. Becker beschreibt denselben in den Annalen der Strassburger Sternwarte Bd. I wie folgt:

Das Objektiv von G. & S. Merz in München hat eine Öffnung von 160 mm und eine Fokallänge von 1,888 m, so dass das Verhältniss beider nur 1 : 11,8 beträgt[1]) und der gedrungenen Bauart des Instruments besonders

[1]) Dieses Verhältniss ist etwas kleiner als beim Wiener Instrument, wo es 1 : 12,2 beträgt

entspricht; die Bilder sind dabei scharf und punktförmig. Eine abwechselnd mit voller und mit auf 80 mm abgeblendeter Öffnung angestellte Reihe von Beobachtungen ergab keinen Unterschied in der Güte der Bilder.

Das Objektiv ist nicht fest in seiner Fassung eingesetzt, sondern wird, um Spannungen, welche Temperaturänderungen hervorbringen könnten, zu vermeiden, durch eine Feder gegen zwei Anschlagstifte gedrückt; diese Feder wirkt in der Richtung des Meridians, sodass Störungen, namentlich des Kollimationsfehlers dadurch nicht hervorgebracht werden können. Die beiden einander ganz gleichen Rohrhälften laufen konisch zu, ihr grösster Durch-

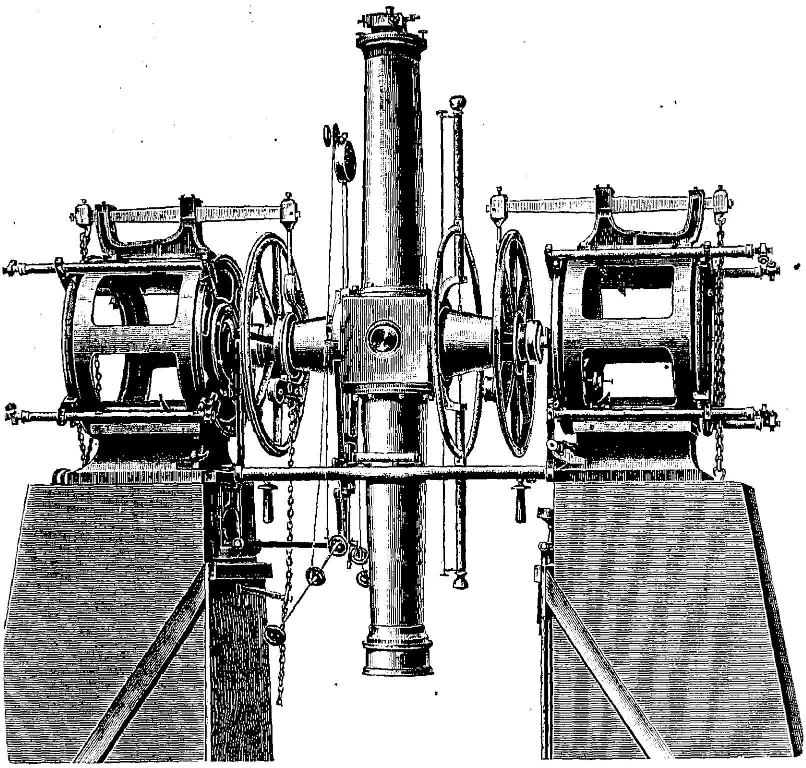


Fig. 937.

messer ist 20,8, ihr kleinster 16,6 cm; sie sind mittelst Flantschen an den Kubus (von 26 mm Seitenlänge) angeschraubt und tragen an ihrem verjüngten Ende in ganz gleicher Weise Objektiv- und Okularkopf Die letzteren lassen sich mit Leichtigkeit vertauschen und es ist für die Präcision der Ausführung bezeichnend, dass die Absehenslinie hierbei eine äusserst geringe Änderung erleidet. Das Mikrometer hat ausser dem System der festen Fäden einen beweglichen Rektascensionsfaden und einen beweglichen Deklinationsfaden. Die Axe hat eine Länge von 1,005 m und endigt in stählerne Zapfen von 34 mm Länge und 90 mm Durchmesser; die Klemmvorrichtung, welche ebenfalls dicht neben dem Fernrohr gelagert ist, ist ganz ähnlich der des Wiener Instruments eingerichtet, ihr gegenüber sind zwei Griffstangen

durch einen Handkreis verbunden, auf der anderen Seite des Kubus aber zwei entsprechende Gegengewichte angebracht. In einem Abstand von nahe 13 cm von den Zapfenenden trägt die Axe die beiden stark gebauten Kreise von 65 cm Durchmesser (gemessen auf der Theilung). Der eine auf der Klemmseite gelegene Kreis ist von 2 zu 2 Minuten getheilt und mit der Axe durch Schrauben verbunden; der andere Kreis ist von Grad zu Grad getheilt und nur an vier äquidistanten Stellen mit einer über 64′ sich erstreckenden Zweiminutentheilung versehen, deren Mitte auf die Striche 45°, 135° u. s. w. fällt;[1]) er ist mit Hülfe eines Triebes drehbar und kann in jeder Stellung durch zwei Klemmschrauben festgestellt werden. Offenbar kann man bei dieser Einrichtung jeden beliebigen Winkel in der Weise messen, dass die Absehenslinien der Mikroskope für die eine Richtung in die Nähe eines Gradstriches, für die andere innerhalb eines Hülfsbogens fallen, und letzteres ist bei ihrer Ausdehnung auf 64′ auch gleichzeitig für die beiden Ränder der Sonne oder des Mondes erreichbar. Ein an dem Umfang des Kreises befindliches Niveau erleichtert die Einstellung des Kreises.

Prof. Becker macht zu dieser Einrichtung am Strassburger Meridiankreis im I. Bande der Annalen der Strassburger Sternwarte die folgende Bemerkung:

„Diese einem Vorschlage von Hansen nachgebildete Einrichtung soll die Bestimmung der Theilungsfehler erleichtern, sie steht aber der ursprünglichen Hansen'schen Anordnung in Leichtigkeit und Allgemeinheit des Gebrauches nach, weil abgesehen von den Fällen, wo durch gleichzeitige Beobachtung des direkten und reflektirten Bildes der Zenithpunkt eliminirt wird, beim Übergang von einem Objekt zum andern stets eine neue Nullpunktsbestimmung erfordert wird, während z. B. bei der von Hansen an dem Gothaer Meridiankreis getroffenen Anordnung die vier regulären an einem Rahmen befestigten Mikroskope drehbar sind und der Drehungswinkel selbst, folglich auch die dadurch bewirkte Nullpunktsänderung, an zwei festen Mikroskopen auf den mit dem Rahmen verbundenen Hülfstheilungen abgelesen werden kann. Der hiesige Gradkreis ist daher in seinem Gebrauch beschränkt und bislang nur auf die Beobachtung von α Ursae min. angewandt worden. Ich würde es für sehr wünschenswerth halten, dass man einmal auf den ursprünglichen Vorschlag Hansen's zurückginge; die technischen Schwierigkeiten dürften wohl zu überwinden sein, und wenn ich mich auf mehrjährige Erfahrungen an dem Gothaer Kreis stützen darf, bei dem zwar die kleineren Dimensionen eine Erleichterung gewährten, andererseits aber die technische Ausführung sehr mangelhaft war, so sehe ich keinen Grund, weshalb bei Instrumenten von grösseren Dimensionen merkliche Nachtheile mit dieser Einrichtung verknüpft sein müssen."

Die Konstruktion der Pfeilerköpfe ist ebenfalls der oben beschriebenen gleich. Auf den 0,11 m unter dem tiefsten Punkte der Kreise endigenden Backsteinpfeilern ist je ein viereckiger Rahmen von sehr gedrungenem ┛-förmigen Querschnitt cementirt, dessen Seitenlänge in der Richtung des Meridians

[1]) Nach der von Hansen angegebenen Methode; vergl. das Kapitel über die Kreise.

53 cm und senkrecht dazu 44 cm beträgt; der eingeschlossene freie Raum ist mit Cement ausgefüllt. Auf der horizontalen Aussenwand dieses Rahmens ruhen mit drei starken Fussschrauben, von denen zwei sich an der dem Instrumente zugekehrten die dritte an der gegenüberliegenden Seite befinden, die grossen, gusseisernen Trommeln, an deren Stirnflächen die Lagerstücke angeschraubt sind, während die Mikroskope an der Mantelfläche entlang gehen. Jede Trommel wird gegen ihren Rahmen durch 6 horizontale Schrauben fixirt, welche je eine an der Nord- und Südseite, je zwei an den beiden Querseiten in der Trommel selbst ihr Gewinde haben und sich gegen den vertikalen Ansatz des Rahmens stützen und deren Einrichtung der des Wiener Instruments gleich ist. Entsprechend der Konstruktion der Pfeilerköpfe haben die Mikroskope auch hier eine ungewöhnliche Länge, die Röhren selbst sind 0,60 m lang und an zwei 0,44 m von einander entfernten Stellen an der Peripherie der Endflächen der Trommeln befestigt. Etwaige durch Temperatureinflüsse hervorgerufene Torsionen werden daher im Winkelbetrag sehr vermindert erscheinen, und da das Auge des Beobachters sich in einer Entfernung von 0,71 m vom Kreise befindet und überdies die Mikroskopträger mit hölzernen Schutzhäusern bedeckt sind,[1]) so wird auch der Einfluss der Körperwärme des Beobachters auf die Kreisablesungen als verschwindend angesehen werden können. Die Mikroskopobjektive sind in den Röhren mittelst einer Schraube mit getheiltem Kopf verschiebbar, eine sehr zweckmässige Einrichtung, welche eine ungemein rasche und sichere Regulirung des Winkelwerths der Schraube erlaubt. Bezeichnet $a_2 - a_1$ den in $^1/_{60}$ der Umdrehung der Mikrometerschraube ausgedrückten mittleren Unterschied zwischen den Einstellungen zweier benachbarter Striche, wo a_2 sich auf den im Sinne der Theilung vorwärts liegenden Strich bezieht, so ist bei den hier geltenden Verhältnissen (Objektivvergrösserung = 2, Abstand des Objektivs vom Kreise = 240 mm, eine Umdrehung der Objektivschraube = 15 Theile = 1 mm) die Anzahl der Theile δ, um welche die Entfernung des Objektivs vom Kreise geändert werden muss, damit 2 Umdrehungen der Schraube einem Theilungs-Intervall von 2 Minuten entsprechen, gegeben durch den Ausdruck

$$\delta = -10\,(a_2 - a_1).$$

Um einer Verschiebung der Umdrehungsaxe in ihren Lagern vorzubeugen und den Abstand des abzulesenden Kreises von den Mikroskopen möglichst konstant zu erhalten, ist, wie beim Wiener Instrument beschrieben, jedes Lagerstück mit einem Anschlaghebel versehen, der entweder festgestellt oder federnd gemacht werden kann.

In Bezug auf die Entlastung des Instruments ist zu bemerken, dass die Gegengewichte nicht unmittelbar auf die Hebelarme aufgesetzt sind, sondern an Ketten hängen und in Schächte, die in den Hauptpfeilern ausgespart und im Keller zugänglich sind, hinabreichen. Um bei der Umlegung des Instruments eine Versetzung der Pfeiler zu verhüten, werden auch hier die

[1]) In der Fig. 937 ist die Umkleidung nicht sichtbar, da diese nach einer in der Werkstatt gefertigten Photographie hergestellt ist.

Arme mit den Friktionsrollen durch Ketten mit der Holzverkleidung der Pfeiler bezw. dem Fussboden verbunden, die, sobald die Aushebung beginnt, gespannt werden; es bleibt daher nur der geringe wenige Kilogramm betragende Gewichtsüberschuss, mit dem das Instrument in den Lagern liegt, der die Grösse und Vertheilung der Belastung der Pfeiler nach der Aushebung ändert, indess merkbare Versetzungen der Lager schwerlich zu bewirken vermag.

Die Beleuchtung des Instruments erfolgt durch zwei mit Linsen versehene Petroleumlampen,[1]) die sich in einem Abstand von 1,9 m von den Enden der Axe befinden und deren Verbrennungsgase durch besondere Schornsteine abgeführt werden. Der Gleichförmigkeit etwaiger Wärmewirkungen wegen werden stets beide Lampen gebrannt, obgleich diejenige, die das Feld erleuchtet, auch die Beleuchtung der Ablesestellen am Zweiminutenkreise vermittelt. Die Helligkeit des Gesichtsfeldes wird hier durch eine der oben beschriebenen ganz ähnliche Gitterblende moderirt. Das Licht ist völlig abgeschnitten, wenn ihre breite Fassung der Kathetenfläche des Reflexionsprismas im Kubus zugekehrt ist. Die ganze Vorrichtung ist doppelt ausgeführt, um in beiden Lagen von Objektiv und Okular dienen zu können; dabei wird das dem Okular zugekehrte Prisma durch den Rahmen der zugehörigen Blende verdeckt, und um unabsichtliche Verstellungen zu verhüten, der zugehörige Schlüssel am Objektivende festgeklemmt. Eine Beleuchtung der Fäden hat das Instrument auf Wunsch von Winnecke nicht erhalten. Auch die Beleuchtung der Kreise lässt, nach einer vorgenommenen Verbesserung des optischen Systems der Mikroskope, nichts zu wünschen übrig. Sie wird durch je zwei einander zugekehrte Spiegel vermittelt, einen grösseren konkaven und einen matten planen, welche an der Fassung des Objektivendes der Mikroskopröhre und an dieser selbst befestigt sind, und eine Drehung um zwei einander parallele Axen zulassen. In ähnlicher Weise beleuchtet dieselbe Lichtquelle das Einstellungsrohr.

Dem Instrument ist ein Satz von 5 Okularen beigegeben, deren Vergrösserung von 75 bis 314 geht. Das meist in Gebrauch befindliche Okular, welches eine 192fache Vergrösserung giebt, ist ein euryskopisches Okular von C. Bamberg mit vorgesetztem Reversionsprisma von Hensold in Wetzlar. Das Prisma selbst bleibt stets vor dem Okular und seine brechende Kante wird zur Umkehrung der Bilder in beiden Koordinaten in Intervallen von zwei Tagen abwechselnd vertikal und horizontal gestellt.

In Fig. 938 gebe ich noch den gleich grossen Münchener Meridiankreis, dessen Objektiv ebenfalls 160 mm Öffnung und 1,950 m Brennweite, also ein

[1]) Prof. Winnecke war der Ansicht, dass Petroleum eine weit zuverlässigere Beleuchtung ermögliche als Gas, welches durch Zufälle, die zu vermeiden nicht immer möglich sei (Einfrieren, wechselnder Druck u. s. w.), Störungen erleiden könne. Die beim Bau des Strassburger Instruments noch nicht in allgemeine Aufnahme gekommene elektrische Beleuchtung astronomischer Instrumente ist aber ebenfalls von solchen Zufälligkeiten wohl kaum ganz frei zu sprechen, sodass die Ansicht Winneckes auch heute noch Beachtung verdient, namentlich für Sternwarten, deren elektrische Einrichtungen nicht ganz auf der Höhe der Zeit stehen.

Verhältniss von 1:12.2 hat. Es sind an diesem Instrument nach Prof. BAUSCHINGER's Angaben und Erfahrungen, welcher diese bei einer speciellen Untersuchung über die Biegung von Meridianfernrohren und den Einfluss der Erwärmung gesammelt hat,[1]) einige Veränderungen angebracht, welche zur Abhaltung solcher Einflüsse dienen sollen. Das Fernrohr ist mit zwei auf denselben Kubusflächen aufgeschraubten Schutzrohren versehen, welche dasselbe in einigem Abstande bis zum Objektiv- und Okularende völlig umgeben und die sich, wie Prof. BAUSCHINGER's Untersuchungen der Biegungskonstante gezeigt haben,[2]) sehr gut bewähren. Von den beiden gleichen 65 cm im Durchmesser messenden Kreisen ist nur der eine getheilt. Auf beiden Seiten

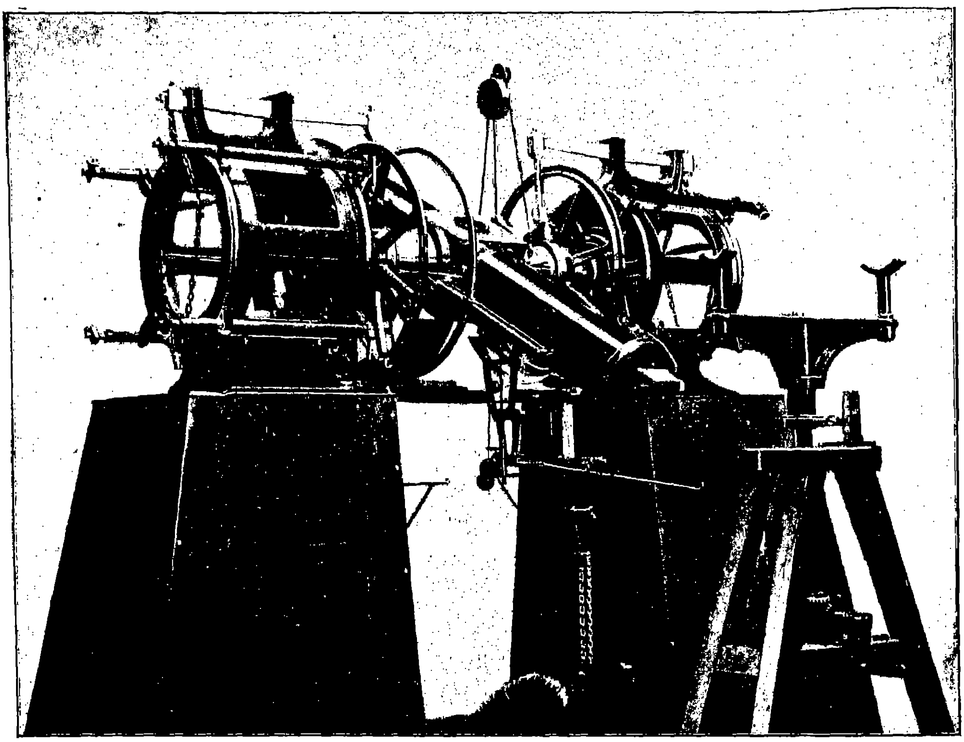


Fig. 988.

des Instruments sind zur Abhaltung der Körperwärme des Beobachters vor dem Kreise Schutzbleche angebracht, welche diese auf einer Strecke von etwa 90° gegen Strahlung von unten schützen. Auch der ganze Mikrometerkopf ist durch eine solche Schutzhülle verdeckt, damit auch hier der Einfluss des Erwärmens durch den Beobachter auf ein Minimum herabgedrückt wird. Das Mikrometer selbst ist nach der neueren Repsold'schen Konstruktion mit elektrischer automatischer Registrirung für die Rektascensionsbeobachtungen

[1]) Bauschinger, Über die Biegung von Meridian-Fernrohren, München 1888. Bei dem neuen Heidelberger Instrument sind diese Schutzbleche nur in geringerer Ausdehnung angebracht.

[2]) Bauschinger, Untersuchungen über die Refraktion etc. Beobachtungsergebnisse des Repsold'schen Meridiankreises der Königl. Sternwarte zu München, Th. I, S. 51 ff.

versehen. Einen beweglichen Deklinationsfaden besitzt dasselbe nicht, weil die Benutzung eines solchen schon zu mannigfachen Bedenken Veranlassung gegeben hat, welche zumeist darin ihren Grund haben, dass die konfokale Lage der beweglichen und festen Fadensysteme nur äusserst schwierig mit der nöthigen Annäherung herzustellen ist, was aber namentlich bei Deklinationseinstellungen von grosser Bedeutung erscheint.

Die den Repsold'schen Kreisen beigegebenen Hülfseinrichtungen sind meist von ganz ähnlicher Konstruktion. Es sind das die Apparate zum Umlegen der Instrumente in ihren Lagern, von denen einer in Fig. 938 sichtbar ist und namentlich auch die Horizonte im Nadir und diejenigen, welche zur Beobachtung der reflektirten Sternbilder dienen. Diese Quecksilberhorizonte sind auf einem wagenähnlichen Untergestell mit vier Rädern, welche auf Schienen laufen, die auf den isolirten Pfeilergrundmauern aufgelegt sind, montirt, sodass der Apparat erschütterungsfrei ist. Zwischen den beiden Böcken bewegt sich um eine horizontale Axe ein Rahmen, welcher an der einen Seite die zwischen Zapfen bewegliche Schale für den Quecksilberhorizont und an der anderen ein entsprechendes Gegengewicht trägt. Mit der Schale steht nach unten zu eine Gabel in Verbindung, welche in einem Gelenk eine Stange aufnimmt von derselben Länge als die Entfernung Horizontalaxe-Schalenmitte beträgt und die andererseits sich in einem senkrecht unter der genannten Axe befindlichen Scharniere bewegen kann. Die dadurch hergestellte einem Watt'schen Parallelogram sehr ähnliche Gradführung hat den Zweck, der Quecksilberschale in jeder Höhe, in welche sie eingestellt wird, ihre Horizontalität zu sichern. Die Schale selbst hat einen Durchmesser, welcher den des Objektivs mehrfach übertrifft, so dass selbst bei sehr schiefer Incidenz der Lichtstrahlen keine von der Randdepression beeinflussten Theile der Quecksilberoberfläche zur Erzeugung der Sternbilder benutzt werden. Einige Worte dürften auch hier über die diesen Meridiankreisen beigegebenen Axenlibellen am Platze sein. Diese Apparate sind unstreitig die am meisten beargwöhnten Hülfseinrichtungen, und ich glaube, dass dieser Argwohn grösstentheils begründet ist, sobald man den Fassungen der an sich vorzüglichen Niveaus eine solche Form giebt, wie sie durch den Umstand bedingt wird, dass man, wenn irgend möglich, bei angehängtem Niveau Nadirbeobachtungen machen kann. Die durch diese Forderung bedingte Biegung des das Niveau tragenden Rohres und die damit verbundene Lage ausserhalb der durch die Zapfen gehenden Vertikalebene und weiterhin die dadurch bedingte Balancirung durch besondere Gewichtsarme führt Komplikationen herbei, die einem zu fundamentalen Bestimmungen bestimmten Apparate fern bleiben sollten. Da sich diese Dinge aber so leicht nicht werden ändern lassen, so halte ich es für durchaus wünschenswerth, die Bestimmung der Instrumentalkonstanten (Neigung und Kollimation in vertikaler Stellung des Instruments) so einzurichten — durch Umlegen in den Lagern und durch ausgiebige Benutzung des Nadirhorizontes — dass von der Anwendung einer Libelle überhaupt abgesehen werden kann. Bei der bequemen Umlegbarkeit der jetzigen Meridiankreise ist das gewiss keine grosse Mühe, zumal auch durch die Repsold'sche Ketteneinrichtung einer ver-

schiedenen Belastung der Pfeiler während des Umlegens vorgebeugt werden kann[1]).

f. Die neueren Meridiankreise von TROUGHTON & SIMMS, SAEGMÜLLER und SALMOIRAGHI.

Zum Vergleich mit den bisher beschriebenen und abgebildeten Meridiankreisen sollen in aller Kürze noch einige von englischen und amerikanischen Werkstätten gewählte Konstruktionstypen dargestellt werden. Fig. 939 zeigt einen Meridiankreis von TROUGHTON & SIMMS.[2]) Er unterscheidet sich vor allem dadurch von den bisher besprochenen Kreisen, dass die beiden Pfeiler, auf welchen er ruht, nicht für sich aus Steinen bestehen, welche auf einem gemeinsamen Untergrund ruhen, sondern dass dieselben aus grossen in einem Stück gegossenen eisernen Hohlpyramiden hergestellt werden, welche durch ihre Grundflächen mit einem gemeinschaftlichen Rahmwerk verbunden sind, während erst dieses als Unterlage den gemauerten Grundpfeiler hat. Die beiden Lagerpyramiden sind nicht fest mit diesem Rahmen verbunden, sondern ruhen an den inneren Seiten auf walzenähnlichen Unterlagen, an den äusseren Ecken sind dieselben durch Schrauben mit dem Grundrahmen verbunden, sodass Temperaturverschiedenheiten keine Spannungen hervorbringen können. Die Axe des Instruments, in einem Stück aus Bronce gegossen, ist in der Mitte von kubischer Form und an den beiden Enden sind Stahlzapfen eingelassen. Die Form der Fernrohrtheile ist aus der Figur genügend ersichtlich; an den dünneren Enden der Axenkonen ist je ein Kreis von 3 Fuss Durchmesser, welcher auf Silber von 5 zu 5 Minuten getheilt ist, aufgesetzt. Die Ablesung der Kreise geschieht durch je 4 Mikroskope, welche auf besonderen radförmigen Kreisen, die mit den Lagerköpfen der Pfeiler in Verbindung stehen, justirbar angebracht sind. Wie aus der Figur ersichtlich, ist zur Untersuchung der Zapfen im Centrum des einen dieser Mikroskopträger ein Fernrohr mit Schraubenmikrometer angebracht, welches durch die Beobachtung einer Mire im Innern des Instrumentes deren durch Zapfenungleichheit veranlasste Verschiebungen zu messen gestattet. Der eine der Theilkreise ist auf der Axe drehbar, um die Wirkung der Theilungsfehler durch Vertauschung der Ablesestellen zu verringern. Die Äquilibrirung des Instrumentes geschieht durch zwei an den Innenseiten der Pfeiler entlang laufende Stangen, welche oben je zwei Friktionsrollen tragen und unten auf dem kurzen Ende eines Hebels ruhen, der den Ständer durchsetzt und ausserhalb desselben am längeren Arme das Gegengewicht trägt. Der Umlegebock, welcher auf besonderen Schienen läuft, ist von besonders kräftiger Konstruktion und gewährt durch die Grösse der Räder beim Herausfahren des Instruments eine besonders sanfte Bewegung.

In Fig. 940 ist ein Instrument der Firma SAEGMÜLLER in Washington

[1]) Sogar bei den nicht umlegbaren Meridiankreisen, wie demjenigen zu Greenwich, hat man schon von der Anwendung der unzuverlässigen Libelle abgesehen und die Bestimmungen der Neigung auf Nadir- und Kollimatorbeobachtungen gegründet.

[2]) Das abgebildete Instrument hat bei 203 mm Öffnung eine Brennweite von etwa 2,75 m.

dargestellt. Auch hier endigen die Pfeiler schon unterhalb des tiefsten Punktes der Kreise, welche sich auf beiden Seiten des Instrumentes befinden. Die Lager sind an den den Repsold'schen Kreisen nachgebildeten Trommeln, ebenso wie die nur in einem Satze vorhandenen Mikroskope, angebracht. Die Äquilibrirung

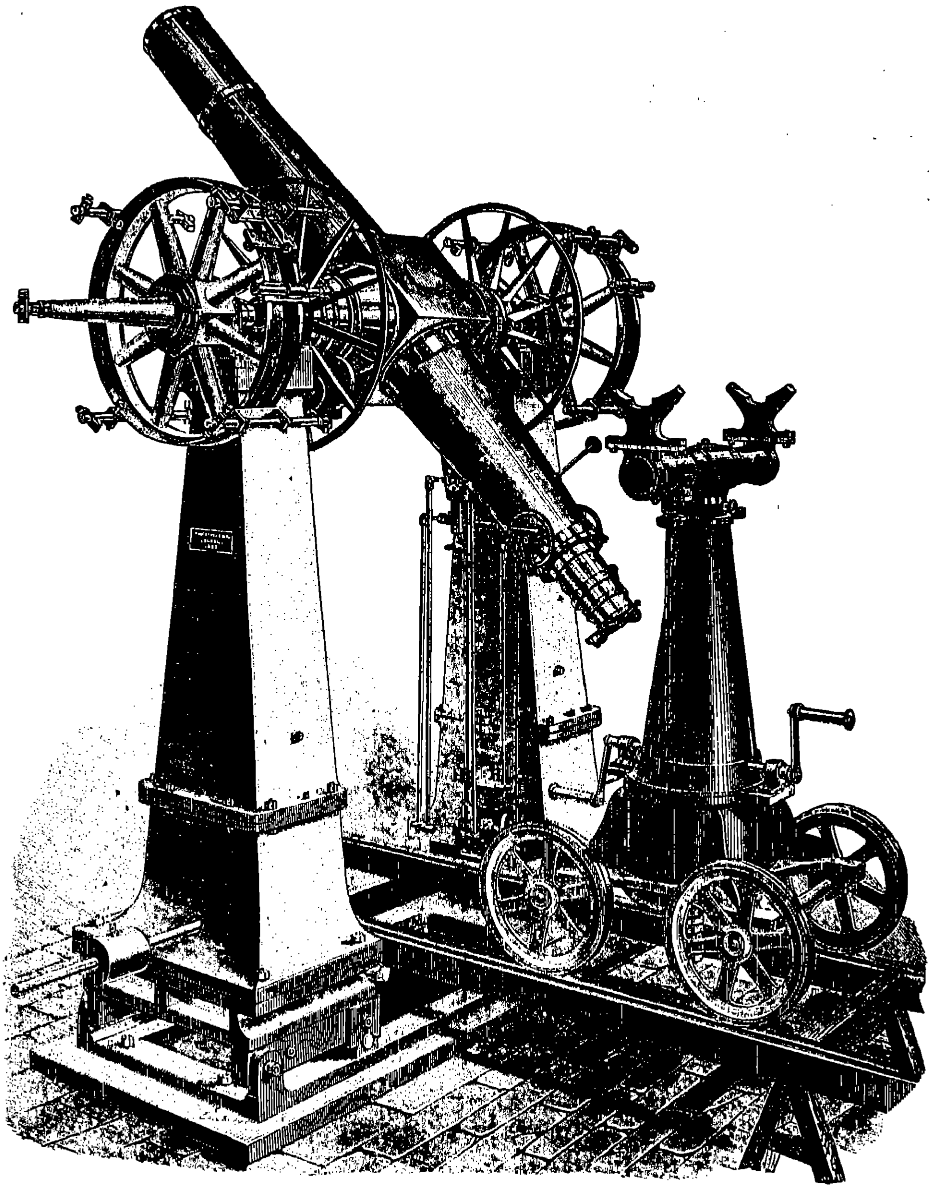


Fig. 989.
(Nach Winterhalter, The Astrophotogr. Congress etc.)

erfolgt durch je eine vom Grunde der Pfeiler ausgehende Stange, welche dort von einem dem Troughton'schen ähnlichen Hebelwerk gestützt wird, und welche oben die Axe ausserhalb der Kreise auf je zwei Rollen tragen. Die Bedenken, welche die Gewichte der deutschen Entlastungsvorrichtungen hervorriefen,

sind bei dieser Art geringer. Die Kreise sind volle, durch radiale Speichen verstärkte Scheiben, welche ganz nahe der Peripherie die für die Theilungen bestimmten Silberstreifen tragen. Beide Kreise sind getheilt, was einen Mikroskopsatz entbehrlich, aber eventuell die Untersuchung zweier Theilungen nöthig macht. Ganz nahe der Innenseite des einen Kreises befindet sich die einfach radial wirkende Klemmvorrichtung und an beiden Pfeilern ein Bolzen, der die den Dorn der Klemme aufnehmende Feinbewegung trägt. Die Konstruktion des Axenniveaus ist aus der Figur sehr gut zu ersehen, so dass dieselbe ohne weiteres verständlich sein wird. Das dargestellte Instrument ist das des Observatoriums zu Cincinnati, welches eine freie Öffnung von 130 mm und eine Brennweite von 1,78 m hat; Objektiv und Okular sind vertauschbar.[1])

Ein der gleichen Werkstätte entstammendes Instrument ist der kleine Meridiankreis in Fig 941, welcher einem Fernrohr von 4 bis 5 Zoll Öff-

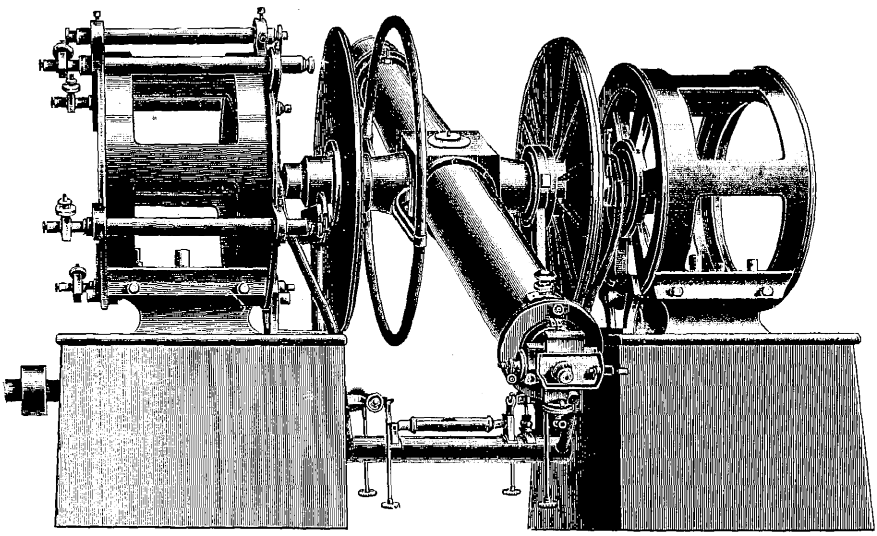


Fig. 940.

nung zur Montirung dient. Auf einem starken Eisenblock A, welcher mit 4 Fussschrauben auf zwei Unterlagen ruht, sind die beiden Lagerständer B B aufgesetzt; diese tragen oben die Trommeln T, welche an ihrer Innenseite die Lager auf starken, radialen Speichen r aufnehmen und an deren Rande zwei Mikroskophalter befestigt sind, in welche die Mikroskope eingelegt werden können. Die Äquilibrirung wird hier durch kurze Bolzen n bewirkt, welche ebenfalls an den Lagerständern gehalten werden und mittelst empordrückender Federn wirken. Dicht an dem Kubus sind die Kreise angebracht, während nach aussen hin dicht daneben auf der einen Seite eine gewöhnliche Radialklemme und auf der anderen Seite ein Niveauring angebracht ist. Die Feinbewegung sowohl wie die Klemmung finden ihren Stützpunkt nicht wie bei den grossen Instrumenten an den Lagerböcken oder an den Pfeilern, sondern

[1]) Nähere Beschreibung findet sich in Sid. Messenger for January 1889.

hier an den beiden Ständern der Umlegevorrichtung. Diese wird durch eine feste Grundplatte gebildet, auf der die beiden zweitheiligen Ständer befestigt

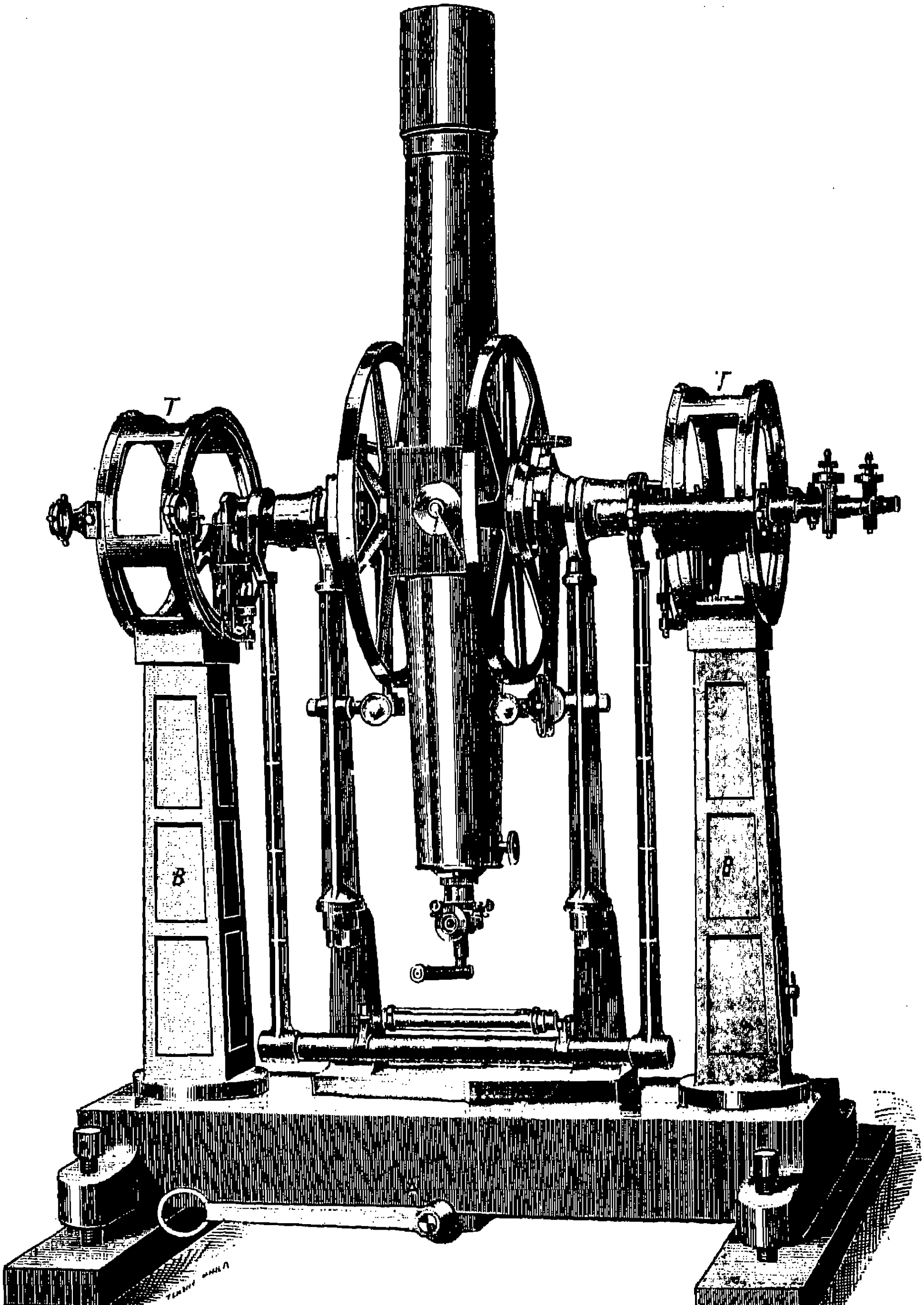


Fig. 941.

sind, und zwar haben diese eine aus der Figur ersichtliche Form, die es ermöglicht, ein gewöhnliches Hängeniveau vermöge der ihm gegebenen, sehr langen Arme auch bei vertikal gerichtetem Fernrohr auf die Axe zu hängen. Es

können daher auch bei angehängtem Niveau Zenithbeobachtungen gemacht werden und zwar mit Benutzung eines gebrochenen Okulars, obgleich die Lagerstützen nur wenig höher sind als die Hälfte der Brennweite.

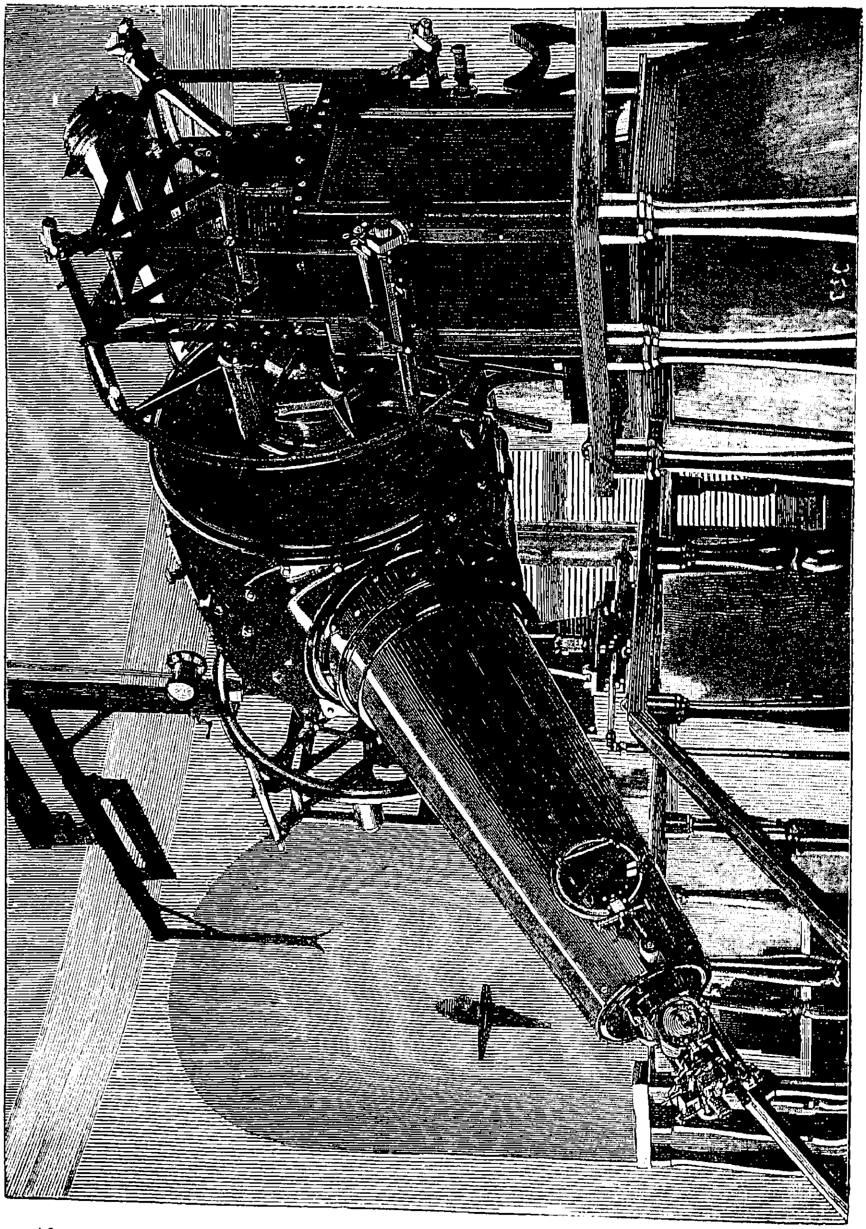


Fig. 942.

Als ein seinem äussern Aussehen nach etwas von der gebräuchlichen Form der Meridiankreise abweichendes Instrument soll hier noch das von Salmoiraghi für das Collegio Romano gebaute erwähnt werden, Fig. 942.

Zunächst fällt das grosse, trommelähnliche Mittelstück auf, welches dem Instrument eine gleichmässigere Form geben soll und welches so gross bemessen ist, dass den Fernrohrkonen eine sehr bedeutende Verjüngung nach

den Enden zu gegeben werden kann, was zur Vermeidung der Biegung natürlich von erheblichem Vortheil ist. Die Mikroskopträger ruhen auf zwei eisernen Kasten, welche die Lager tragen, und als viereckige Doppelrahmen gestaltet sind, deren untere Theile durch die Lageraufsätze selbst vertreten werden. Es dürfte fraglich sein, ob so der offenbar angestrebten Gleichmässigkeit der Form und damit dem schädlichen Einfluss der ungleichen Temperaturvertheilung genügend Rechnung getragen ist. Das hier dargestellte Instrument hat bei einer Öffnung von 210 mm eine Brennweite von 3 m, ist also einer der mächtigsten Meridiankreise, die wir besitzen.

g. Kleinere Meridiankreise und besondere Konstruktionen.

Für kleinere Observatorien dürften einige Konstruktionstypen recht zu empfehlen sein, welche noch nachfolgend dargestellt werden sollen.

In Fig. 943 ist ein kleinerer Meridiankreis von Sécretan in Paris, in Fig. 944 ein Kreis von Bamberg in Berlin, Fig. 945 ein solcher von Wanschaff dargestellt.

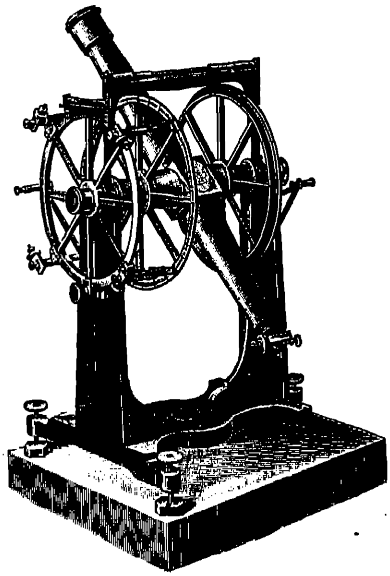


Fig. 943.

Eine nähere Erläuterung dieser Figuren dürfte nach dem Vorstehenden kaum nöthig sein, da Besonderheiten sich daran nicht vorfinden.

Die theilweise mühevolle Bestimmung einiger Instrumentalfehler der Meridiankreise, so namentlich des durch die Biegung veranlassten Fehlers hat noch zu einigen von den bisher gebräuchlichen Systemen abweichenden Konstruktionen geführt. Man hat z. B. das Fernrohr nicht nur in seiner Mitte mit dem Kubus in Verbindung gebracht, sondern neuerdings auch wieder an seinen Enden mit den getheilten oder mit besonders zu diesem Zwecke aufgesetzten Hülfskreisen, wie das z. B. beim Greenwicher Altazimuth, Fig. 827, der Fall ist oder bei den älteren Meridiankreisen engl. Ursprungs, von denen Fig. 946 einen solchen von Troughton darstellt. In neuerer Zeit hat auch der englische Astronom A. A. Common einen dahin gehenden Vorschlag gemacht, für welchen Fig. 947 die schematische Darstellung giebt.[1]) Die Horizontalaxe, welche mit zwei sehr starken Zapfen auf den beiden in den Pfeilern eingelassenen Lagern ruht, ist zusammengesetzt aus zwei Hohlkonen von grossem, erzeugenden Winkel, welche an ihrer Basis durch einen cylindrischen Theil mit einander verbunden sind. Dieser hat 4 Bohrungen, 2 für den Strahlengang des Fernrohrs und zwei für die Durchsicht nach den Kollimatoren. Zwischen Axenkonus und Cylinder ist je eine Metallscheibe mit

[1]) Monthly Notices, Bd. XLIV, S. 288.

eingeschraubt von einem etwas geringeren Durchmesser, als die Fokallänge des Objektives beträgt; auch diese sind an ihrer Peripherie mit einem cylindrischen Mantel verbunden, der die Bohrungen für die Objektivfassung für

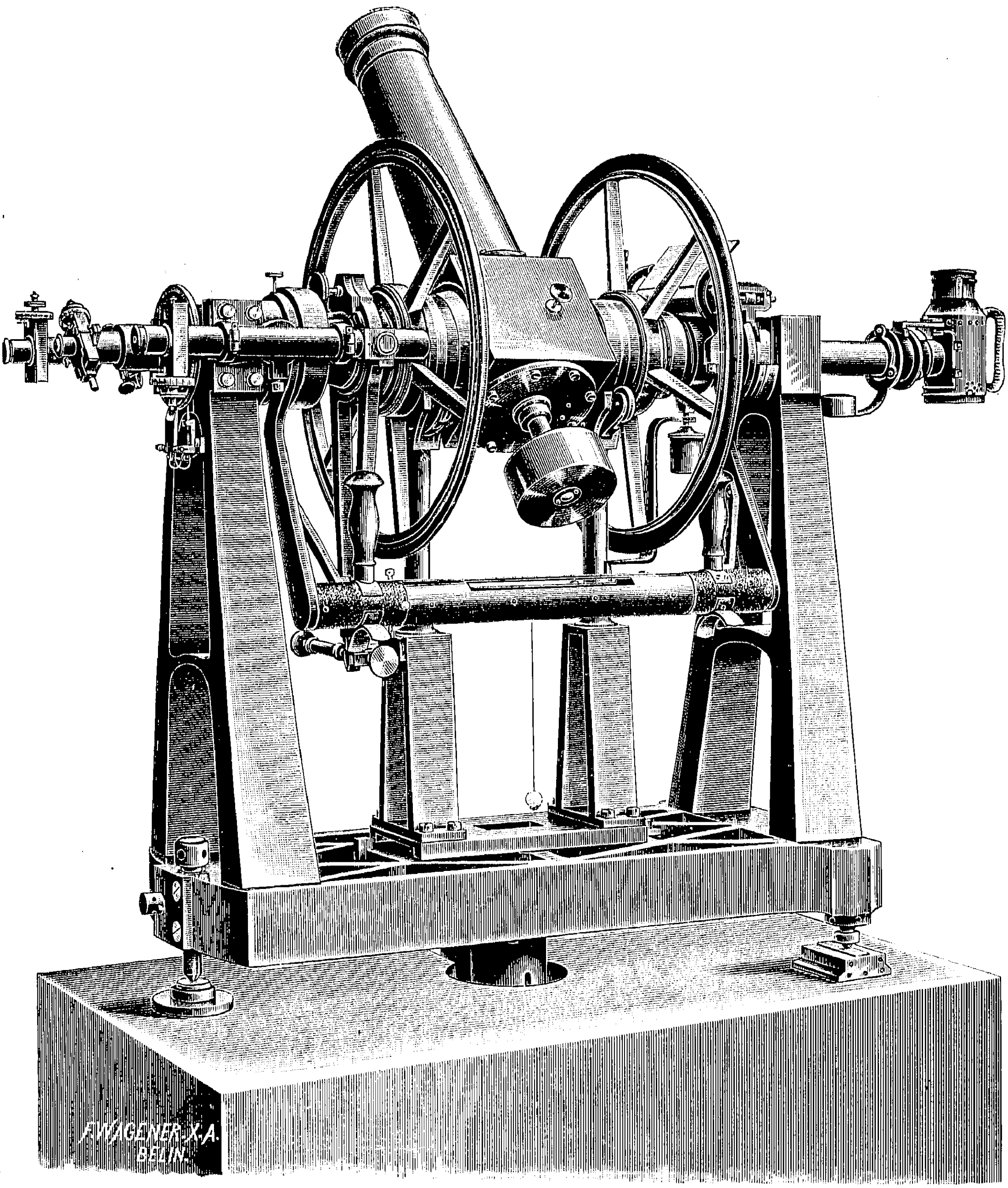


Fig. 944.

den Okularstutzen und für die Kollimatordurchsicht enthält. Um diese schweren Mitteltheile sowie das ganze Instrument in geeigneter Weise zu stützen, schlägt Common vor, dicht neben den beiden genannten Scheiben zwei Trommeln,

wie aus der Skizze ersichtlich, anzubringen, welche in Tröge mit Quecksilber soweit eintauchen, dass der Auftrieb nahe dem Gewicht des Instrumentes gleich kommt. Das würde eine von den Pfeilern gänzlich unabhängige Äquilibrirung herbeiführen und eine eventuelle Axenbiegung vermeiden. Einige weitere Veränderungen beziehen sich auf die Lagerung auf Planebenen statt in Winkellagern, sodass die Zapfen nur gegen Verschiebungen gesichert zu werden brauchen, dagegen aber weit weniger Reibung vorhanden sein würde. Doch scheinen mir die letzteren Einrichtungen von viel geringerem principiellen Belang, und es mag daher hier auf die citirte Abhandlung wegen derselben verwiesen werden. Das gilt auch bezügl. der eigenthümlichen Anordnung zur Bestimmung der Neigung der Horizontalaxe mittels zweier kommu

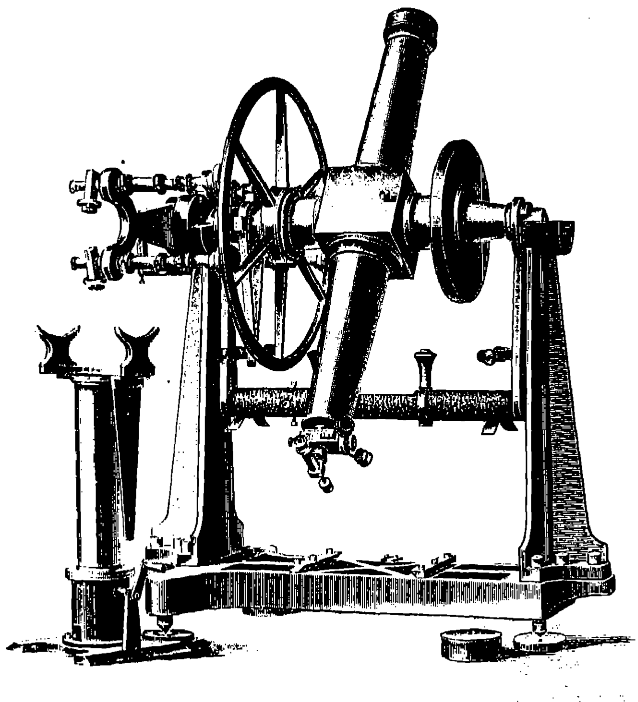


Fig. 945.

nicirenden Rohre mit Quecksilberfüllung auf elektrischem Wege, durch welche meines Erachtens nur neue Fehlerquellen eingeführt, aber keine erheblichen Vortheile erzielt werden.

Von ganz anderen Überlegungen ging, wie bei der Besprechung der Durchgangsinstrumente näher beschrieben, Steinheil bei der Konstruktion des in Fig. 906 schematisch dargestellten Meridiankreises aus. Er verlegte die Fernrohraxe zugleich in die Rotationsaxe und brachte, wie schon geschildert, vor dem Objektiv, welches er in die durch das eine Zapfenlager gehende Vertikalebene gelegt wissen wollte, während die Fadenplatte in der entsprechenden anderen Zapfenebene liegen sollte, ein rechtwinkliches Prisma an, um die Strahlen aus der Meridianebene in die Fernrohr- und Rotationsaxe zu leiten. Auf die frühere Figur mich beziehend, sei hier nur noch erwähnt,

dass die Ablesung des Kreises durch zwei Mikroskope erfolgen sollte, deren Lagerung in der Zwischenwand vorgesehen war, sodass von dem Instrumente jeglicher Einfluss der Körperwärme des Beobachters ferngehalten werden konnte.

Eine dem Steinheil'schen Instrumente ähnliche Einrichtung hat E. J. STONE[1]) vor mehreren Jahren angegeben. Dieselbe ist schematisch in Fig. 948a dargestellt. Es ist Fernrohr und Kreis ebenfalls als ein vollständiger, einziger, derselben Axe zugehöriger Rotationskörper gedacht, während Objektiv und Objektivprisma aus einem Stück gearbeitet wurden, bis auf die konkavkonvexe Linse, welche zur Achromatisirung nöthig ist.[2]) Die Objektivöffnung ist also bei A; an C erfolgt die totale Reflexion, und in a befindet sich im Zapfen das Okularende. Die zwischen Zapfen und Objektivprisma angebrachten Hebelarme mit Friktionsrollen verhindern eine sonst leicht zu befürchtende Durchbiegung. Die Einrichtung der Kreise und der Ablesemikroskope, welche dicht neben dem Fernrohrokular ihre Mikrometerokulare haben, ist aus der Skizze leicht zu ersehen. Welche Resultate ein nach diesen Prin-

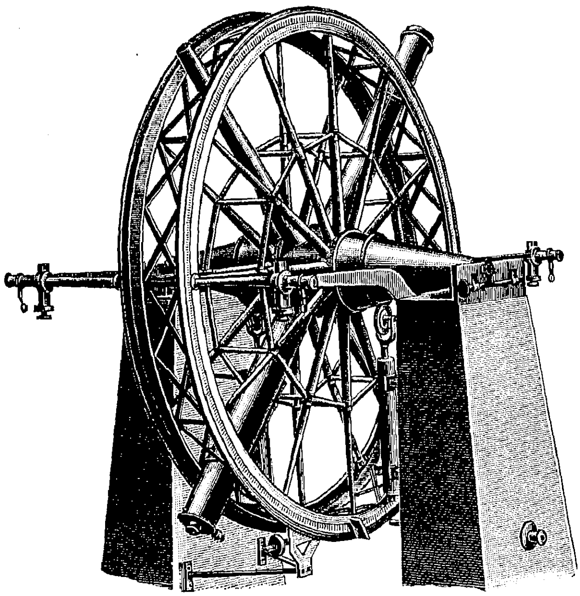


Fig. 946.
(Nach Pearson, Pract. Astronomy.)

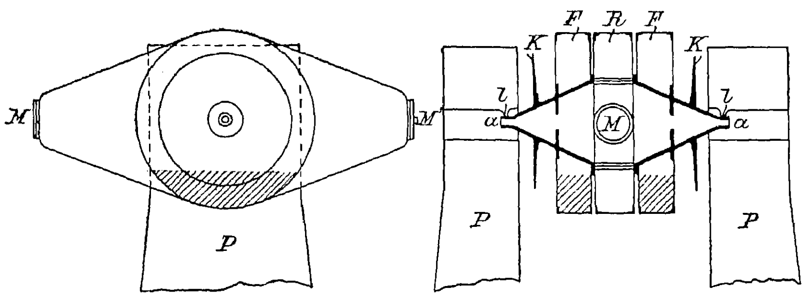


Fig. 947.

[1]) Monthly Notices Bd. LI, S. 83.

[2]) Sir H. Grubb hat 1882 ein solches Objektiv, Fig. 948b, mit günstigem Erfolg geschliffen und zwar in folgenden Dimensionen:

	Fläche 1. Plan			
Fokallänge 99,972 Zoll engl.	„ 2. „		Crown	Flint
	„ 3. Radius =	21,928 Zoll	n_D 1,52959	1,63504
	„ 4. „	21,418 „	n_E 1,53301	1,64202
	„ 5. „	40,967 „	n_F 1,53605	1,64826

cipien gebautes Instrument aufzuweisen hat, ist mir nicht bekannt geworden. Auch ist ja bekanntlich der Steinheil'sche Vorschlag im Grossen nicht ausgeführt worden, nur die oben bei Passageninstrumenten beschriebenen Instrumente sind auf denselben gegründet.[1])

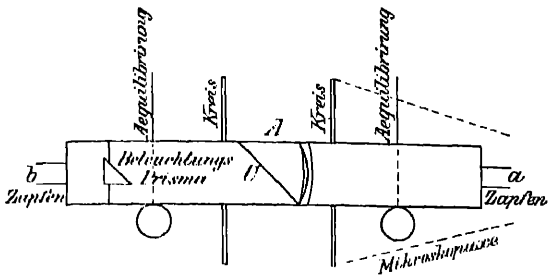


Fig. 948 a.

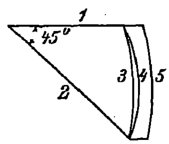


Fig. 948 b.

3. Bestimmung der Konstanten der Durchgangsinstrumente und Meridiankreise.

Die Untersuchung und Korrektur der Durchgangsinstrumente und der Meridiankreise, resp. die Bestimmung der Abweichung derselben von der idealen Gestalt und Aufstellung hat sich auf folgende Punkte zu erstrecken.[2])

A) Die Bestimmung der Fadendistanzen.

B) Ermittelung der zur Reduktion der Sterndurchgänge durch die Kollimationslinie des Fernrohrs auf diejenige durch den Meridian nöthigen Fehler jener Linie. Dahin gehören die Bestimmung
   a) des Kollimationsfehlers
   b) der Neigung } Aufstellungsfehler
   c) des Azimuths }
   d) der physiologischen Fehlerquellen (persönl. Gleichungen für die Durchgänge, abgesehen von der Helligkeit der Gestirne).

C) Bestimmung eines Fundamentalpunktes der Theilung (Nadirpunkt) und die Untersuchung derselben auf ihre Fehler. Die Biegung der Fernrohre und der Einfluss der Schwere auf die Kreise und die Neigung der Horizontalfäden.

Bei der Aufstellung und nahen Berichtigung eines Durchgangsinstrumentes wird darauf zu achten sein, dass zunächst derjenige Fehler, welcher von der Aufstellung selbst unabhängig ist, der Kollimationsfehler, nach Möglichkeit berichtigt wird. Zu diesem Zwecke wird es nur nöthig sein, das Fernrohr auf ein genügend weit entferntes gut sichtbares Objekt mit scharfer Begrenzung (Fahnenstange, Blitzableiter, Felsenspitze oder dergl.) zu richten; es ist also zunächst das ganze Instrument im Azimuth soweit zu ver-

---

[1]) Soweit mir erinnerlich, befindet sich in Wien ein Passageninstrument von Steinheil, welches eine dem Stone'schen Vorschlag ganz ähnliche Einrichtung besitzt.

[2]) Für beide, Durchgangsinstrumente und Meridiankreise, gelten natürlich dieselben Bedingungen, nur dass bei letzteren noch die zur Messung der Zenithdistanzen nöthigen Daten hinzu kommen. Ebenso tritt für das Durchgangsinstrument im „Ersten Vertikal" nur der Ost-West-Vertikal an die Stelle des Meridians.

schieben, bis der Mittelfaden genau eingestellt ist. Legt man nun das Instrument in seinen Lagern um, so muss, falls der Winkel zwischen Absehenslinie und Rotationsaxe gleich 90^0 ist, der Mittelfaden wieder auf das Objekt eingestellt sein. Ist das nicht der Fall, so verschiebt man die gesammte Fadenplatte mittelst der dazu vorhandenen Korrektionsschrauben so weit in azimuthaler Richtung, bis der Mittelfaden auf einem in der Mitte zwischen dem zuerst mit ihm zusammenfallenden Punkt und dem nach der Umlegung zur Deckung gebrachten Punkte zu stehen kommt. Würde man diese Halbirung sofort ganz scharf ausführen können, so wäre damit der Kollimationsfehler beseitigt. In Wirklichkeit muss man die Umlegung und Korrektur wohl mehrmals wiederholen, bis eine genügende Genauigkeit erreicht ist. Nun würde zunächst die Rotationsaxe genähert in das gewünschte Azimuth gebracht werden. (Es wird immer im Voraus einige Sicherheit über die Ost-West-Richtung oder über den Südpunkt vorhanden sein.) Ist die Richtung des Meridians nur sehr ungenügend bekannt, so kann man aus einer einfachen Beobachtung der Sonne zur Zeit ihrer grössten Höhe oder zur Zeit gleicher Höhen (Schattenlängen) eine genügend genäherte Richtung finden. Ist dann das Instrument im Meridian aufzustellen, so bringt man die Absehenslinie in diese Richtung; soll es im I. Vertikal aufgestellt werden, so bringt man die Axe in den Meridian. Die weitere vorläufige Justirung kann auch zunächst mittelst der Sonne erfolgen; man beobachtet dieselbe bei ihrem Eintritt in das Gesichtsfeld und verstellt dann das Instrument im Azimuth so, dass das Sonnenbild bei kleineren Instrumenten gerade zur Zeit des wahren Mittags, dessen Eintritt sowohl für die Zeitangabe nach Sternzeit, als auch nach mittlerer Zeit aus irgend einem Jahrbuch entnommen werden kann,[1]) von dem Mittelfaden halbirt wird. Bei grossen Instrumenten wird durch geeignete vorherige Festlegung der Mittagslinie die Einstellung schon immer mit derjenigen Genauigkeit möglich sein, welche sofort die Beobachtung eines dem Pole nahen Sternes gestattet. Aus der Durchgangszeit eines solchen langsam bewegten Sternes durch den Mittelfaden, verglichen mit dem für diesen Moment berechneten Azimuth dieses Sternes, lässt sich dann ohne Weiteres die noch nöthige kleinere Korrektion nach Sinn und Grösse finden und mittelst der an den Lagern oder an dem ganzen Untersatz des Instrumentes angebrachten Korrektionsschrauben so weit als wünschenswerth beseitigen. Ist das Instrument im gewünschten Azimuth aufgestellt, so horizontirt man die Rotationsaxe. Das kann zunächst wohl immer mit einer Libelle erfolgen, und zu diesem Zwecke sind gewöhnlich an einem Axenlager die nöthigen Vertikalverschiebungen möglich, vergl. S. 291 ff. Azimuth und Neigung der Axe werden selten so zu korrigiren sein, dass nicht bei der Ausführung der einen Korrektur die Lage der Axe bezüglich der anderen Koordinate wieder etwas gestört wird. Beide Korrekturen werden also am besten gemeinsam vorgenommen, und es werden unter Umständen erst nach einigen Wiederholungen die bezüglichen Abweichungen von der idealen Lage in genügender Weise verringert sein.

---

[1]) Natürlich mit Berücksichtigung der genäherten Längendifferenz zwischen den Meridianen des Jahrbuches und des Beobachtungsortes.

Man hat auch Apparate konstruirt, welche die genäherte Orientirung eines Durchgangs- oder eines Universalinstruments in den Meridian auf mechanischem Wege ermöglichen sollen. Dieselben sind namentlich in den mechanischen Werkstätten der Vereinigten Staaten ausgeführt worden und unter dem Namen „Solar-Attachement“ bekannt.

Das Princip dieser Instrumente beruht darauf, dass man aus bekannter Rektascension, Deklination und geographischen Breite den Stundenwinkel und das Azimuth eines Gestirns für eine beliebige Zeit ausrechnen kann. Hat man also ein Fernrohr, welches sich um eine Axe, die parallel der Weltaxe steht, um eine dazu senkrechte und um eine vertikale Axe drehen lässt, so kann man nach Einstellen der Deklination eines Gestirnes mit Hülfe eines geeigneten Kreises, die Absehenslinie des Fernrohrs allein durch Drehen um die beiden anderen

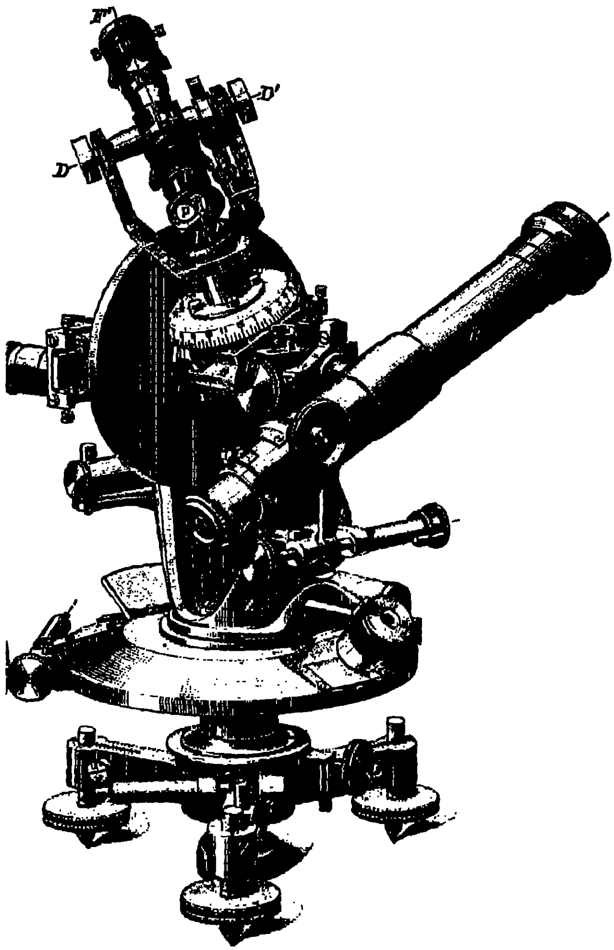
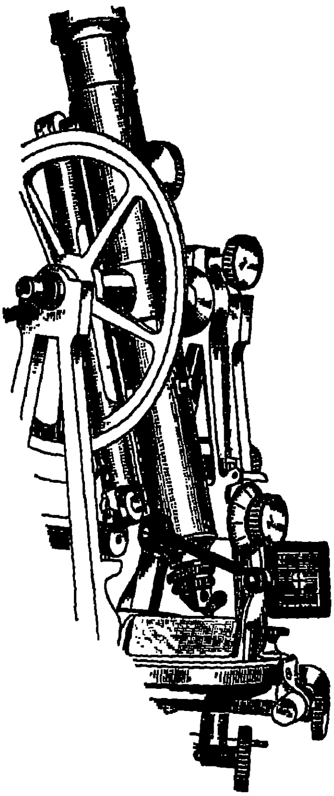


Fig. 949.


Fig. 950.

Axen nach dem betreffenden Gestirn richten. An Kreisen auf diesen Axen lässt sich dann sowohl der Stundenwinkel, also die Zeit, als auch die Abweichung im azimuthalem Sinne ablesen. Verbindet man das Instrument mit der Horizontalaxe eines Universals oder eines Durchgangsinstruments, so lässt sich deren Azimuth bestimmen resp. dieselbe in ein gewünschtes Azimuth bringen. Fig. 949 stellt ein solches Instrument von Hildebrand in Freiberg und die Fig. 950 ein solches nach Buff & Berger in Boston dar. Für weitere Erläuterung muss ich aber hier auf Zschr. f. Instrkde. 1888, S. 2 ff. und auf die ausführlichen Preisverzeichnisse der amerikanischen Werkstätten verweisen.

Die sodann noch übrig bleibenden, nun aber sehr kleinen Winkel, welche die „Axen“ des Instrumentes mit ihrer idealen Lage einschliessen, seien: c = Kollimationsfehler; i = Neigung und k = Azimuth der Horizontalaxe.

Dann ist nach der sogenannten Mayer'schen Reduktionsformel, welche dem Wesen des Durchgangsinstrumentes am besten entspricht (wenn sie auch der etwas umständlicheren Rechnungen wegen nicht die bequemste ist): $t = k\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos\delta} + i\frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta} \pm c\sec\delta$, wo t der wirkliche Stundenwinkel des Gestirnes zur Zeit der Beobachtung, d. h. zur Zeit des Durchgangs durch den Mittelfaden ist. Hat man also die Uhrangabe U für diesen Moment beobachtet und man will diejenige T kennen, zu welcher der Stern sich im Meridian befand, so hat man offenbar:

$$(1)\quad T = U + k\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos\delta} + i\frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta} \pm c\sec\delta. \begin{cases}\text{obere Kulmination.}\\ \text{untere Kulmination.}\end{cases}$$

Wird nun, wie es bei Sternbeobachtungen in den hier in Betracht kommenden Fällen stets sein wird, angenommen, dass die Zeitangaben nach einer Sternzeituhr gemacht sind, so wird auch mittelst dieser Gleichung der Stand der Uhr $\triangle u$ gegen Sternzeit sofort gefunden werden können, wenn $\triangle u = \alpha - T$ angenommen wird (α = Rektascension des Gestirns), also:

$$(2)\ \ldots\ldots\ \triangle u = \alpha - U + k\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos\delta} + i\frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta} \pm c\sec\delta.\text{ [1]}$$

Auch ist aus der Form vorstehender Gleichung (1) sofort zu ersehen wie es möglich ist aus Sternbeobachtungen die Instrumentalfehler selbst zu bestimmen; denn bedenkt man, dass für Sterne, welche auf derjenigen Seite des Meridians kulminiren, auf der der sichtbare Himmelspol liegt, $\varphi - \delta < 0$ wird, so hat man, wenn ausserdem noch in Betracht gezogen wird, dass für untere Kulmination an die Stelle von $\varphi - \delta$ der Werth $\varphi + \delta$ zu treten hat:

$$(3)\ \ldots\ldots\ldots\quad \begin{array}{ll}\text{Obere Kulmination} & \begin{cases} T = U + k\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos\delta} + i\frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta} + c\sec\delta\ \text{Kr. West.}\\ T = U + k\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos\delta} + i\frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta} - c\sec\delta\ \text{Kr. Ost.}\end{cases}\\ \text{Untere Kulmination} & \begin{cases} T = U + k\frac{\sin(\varphi + \delta)}{\cos\delta} + i\frac{\cos(\varphi + \delta)}{\cos\delta} - c\sec\delta\ \text{Kr. West.}\\ T = U + k\frac{\sin(\varphi + \delta)}{\cos\varphi} + i\frac{\cos(\varphi + \delta)}{\cos\delta} + c\sec\delta\ \text{Kr. Ost.}\end{cases}\end{array}\text{ [2]}$$

Wird man also in oberer und unterer Kulmination und in beiden Lagen des Instruments beobachten, so werden sich durch geeignete Verbindungen der einzelnen Formeln aus (3) die Grössen k, i und c finden lassen, wenn φ und δ bekannt sind. Weiterhin findet sich auch mit Hülfe von (2) der Stand der Uhr resp. die Grösse von α. Dieses ist im Allgemeinen immer der Zweck einer Durchgangsbeobachtung im Meridian oder in der Nähe desselben (Zeitbestimmung im Vertikal des Polarsterns).

---

[1] Bei der Entnahme von α aus der Ephemeridensammlung ist zu bemerken, dass das dort gegebene α noch wegen der täglichen Aberration zu korrigiren ist. Diese Korrektion kann aber auch dadurch eingeführt werden, dass man statt c die Grösse $c \pm 0'',021 \cos\varphi$ anwendet.

[2] Die Werthe der Koefficienten von k, i und c pflegt man für den betreffenden Beobachtungsort zu tabuliren. Solche ausführliche Tafeln finden sich in vorzüglicher Anordnung in: Albrecht, Formeln und Hülfstafeln etc., Leipzig 1894.

A. Fadendistanzen.

Würde man die Durchgänge der Sterne nur durch die Kollimationslinie des Fernrohrs, welche die Mitte des Objektivs mit dem Mittelfaden verbindet, beobachten, so würden weitere, letzterem parallele Fäden überhaupt unnöthig sein, thatsächlich beobachtet man aber die Antritte der Sterne an einer grösseren Reihe von Fäden, die häufig in Gruppen von drei oder fünf seitlich des Mittelfadens angeordnet sind, etwa wie es in den Fig. 410h—m angedeutet ist. Um aus diesen Momenten auf jenen schliessen zu können, zu welchem gemäss den letzteren der Stern durch den Mittelfaden gegangen sein würde, ist die Kenntniss der Entfernung der Seitenfäden vom Mittelfaden nöthig. Diese zu bestimmen, giebt es mehrere Methoden.

1. Man lässt Sterne in etwa 70—80° Deklination das Gesichtsfeld passiren und berechnet auf Grund der zwischen den Durchgängen durch die Seitenfäden und durch den Mittelfaden verflossenen Zeit die gewünschte Distanz nach dem Ausdrucke

$$\sin F = \sin f \cos \delta,$$

wo F die sogenannte Äquatorealfadendistanz und f die beobachtete Zwischenzeit für einen Stern von der Deklination δ ist.

Die aus einer grossen Anzahl so beobachteter f gefolgerten Mittelwerthe der F ergeben dann umgekehrt für jeden Stern von der Deklination δ die Reduktion auf den Mittelfaden

$$\sin f = \sin F \sec \delta$$

oder für Sterne bis etwa 70° Deklination

$$f = F \sec \delta.$$ [1])

Da man nicht absolut sicher ist, dass die Vertikalfäden untereinander parallel sind, so hat die Beobachtung des Antritts immer an derselben Stelle derselben, also etwa in nächster Nähe oder zwischen den Horizontalfäden zu geschehen.

2. Man misst nach dem Gauss'schen Verfahren die Winkel, welche die von den Fäden durch die Mitte des Objectivs gezogenen Linien miteinander bilden, z. B. mittelst eines Theodoliten oder eines passenden mikrometrischen Apparates, dessen Konstanten anderweit bekannt sind. Diese Linien sind offenbar die Axen von cylindrischen Strahlenbüscheln, welche das Objektiv zur Basis haben und welche durch ein zweites Objektiv aufgefangen sich in dessen Brennebene wieder zu einem Bilde des in der Brennebene des ersten Instruments befindlichen Fadennetzes vereinigen. Werden diese Fadenbilder nach einander mit der Absehenslinie des Theodoliten zur Deckung gebracht, so wird man am Kreise desselben die Winkel ablesen können, welche die Geraden von den Fäden nach der Objektivmitte des Hauptinstruments mit einander machen. Diese Methode giebt eine gute Kontrole der ersteren.[2])

---

[1]) Wesentlich komplicirter wird diese Reduktion für den Fall, dass die Durchgänge ausserhalb des Meridians beobachtet worden sind. Bezüglich dieser Reduktionen muss aber hier auf die Lehrbücher der sphärischen Astronomie verwiesen werden.

[2]) Es ist dabei zu bemerken, dass bei der Bestimmung der Fädendistanzen nach Gauss' Methode bei ganz strengem Verfahren eigentlich Rücksicht auf die Wirkung der Refraktion genommen werden müsste. Auf diesen Punkt hat, soweit mir bekannt, Encke zuerst aufmerksam gemacht.

Hat man aus Durchgangsbeobachtungen oder auf anderem Wege den Werth einer Umdrehung der Bewegungsschraube eines beweglichen Vertikalfadens kennen gelernt, so kann man die Distanzen in einem Fadennetz auch damit ausmessen. Sowohl der Werth der Schraubenumgänge als auch die Fadendistanzen selbst bleiben selbstverständlich nur so lange konstant als sich der Abstand der Fadenebene vom Objektiv nicht ändert. Es ist daher auf eine sichere Befestigung des Okularstutzens im Hauptrohr besonders Bedacht zu nehmen. Die genaue Einstellung erfolgt so, dass man zunächst das Okular so lange verschiebt, bis die Fäden ganz scharf erscheinen, und sodann den ganzen Okularauszug, bis ein entsprechend enger Doppelstern bei seinem Durchgang sicher getrennt erscheint. Eine gute Prüfung lässt der Polarstern zu, da man bei dessen langsamer Bewegung auch zusehen kann, ob sich dessen Bild bei kleinen Bewegungen des Auges gegen das Fadennetz nicht verschiebt, also keine Parallaxe vorhanden ist. Sollen Antritte des Mondes oder der näheren Planeten[1]) an Seitenfäden auf den Mittelfaden reducirt werden, so ist dabei auf deren Eigenbewegung, also auf ihre Ortsveränderung am Himmel während der zwischen Seitenfadenantritt und Mittelfadenantritt verflossenen Zeit Rücksicht zu nehmen. Es geschieht dies durch Multiplikation der für den betreffenden Parallel geltenden Fadendistanz f_δ mit einem Faktor R, welcher aus der folgenden Gleichung gefunden wird:

$$R = \frac{1 - \varrho \sin \pi \cos (\varphi' - \delta)}{(1 - \lambda) \cos \delta},$$

wo ϱ dem radius vector und φ' die geocentrische Breite des Beobachtungsortes, π die Horizontalparallaxe des Himmelskörpers und λ die Zunahme der Rektascension (in Zeit) in einer Sternzeitsekunde bedeutet. Statt der Reduktion auf den wirklichen Mittelfaden führt man auch manchmal einen ideellen Mittelfaden dadurch ein, dass man annimmt, derselbe befände sich da, wo die Summe der Abstände der östlich resp. westlich von ihm liegenden Fäden, wenn die ersteren positiv und die letzteren negativ gesetzt werden, gleich Null wird; also

$$f o_1 + f o_2 + f o_3 + \ldots f o_n = f w_1 + f w_2 + f w_3 + \ldots f w_n.$$

Dann wird für den Fall, dass stets alle Fäden beobachtet sind, die Reduktion auf den „Mittelfaden" einfach durch Bildung des arithmetischen Mittels aller Fädenantritte vorgenommen werden können. Man kann auch, wenn die Entfernung dieses ideellen Mittelfadens vom wirklichen bestimmt wird, die Kollimation gleich auf diesen beziehen. Es ist dieses Verfahren aber insofern nicht zu empfehlen, als es für den Fall, dass ausreichende Tafeln für die Reduktion der Seitenfäden auf den Mittelfaden vorhanden sind, keine sehr wesentliche Erleichterung gewährt, wohl aber leicht Versehen in der Zeitnotirung für die einzelnen Fäden unerkannt lässt. Dass die Vorzeichen der Fadendistanzen sich beim Umlegen des Instrumentes und beim Übergang von oberer zu unterer Kulmination ebenfalls ändern, braucht wohl kaum erwähnt zu werden. Man pflegt wie bei den Instrumentalfehlern gewöhnlich von der Westlage

[1]) Eine Berücksichtigung dieser Ortsveränderung ist höchstens noch beim Saturn nöthig.

bei oberer Kulmination auszugehen und auch in der dann von einem Stern eingehaltenen Bewegungsrichtung die Fäden zu numeriren.

Hat die Uhr, nach welcher die Fädendistanzen beobachtet werden, einen erheblichen Gang, so muss dieser bei der Berechnung von F aus f in Rücksicht gezogen werden. Ist der stündliche Gang gegen Sternzeit $\triangle g$, so hat man statt $f \sec \delta$ zu setzen:

$$f\left(1 - \frac{\triangle g}{3600}\right) \sec \delta.$$

Wird z. B. für Sterndurchgänge eine mittlere Zeituhr verwendet, für welche $\triangle g = + 9^s.83$ ist, so wird $\log \left(1 - \frac{\triangle g}{3600}\right) = 9.998\,81$ und allgemein für $\triangle g$ gegen mittl. Zeit der Faktor: $[9.99881] + [0.000005_n] \triangle g \times 24$.

B. Die Instrumental- und Aufstellungskonstanten zur Reduktion auf den Meridian.

a) Der Kollimationsfehler.

Dieser ist ein dem Instrumente selbst zugehöriger Fehler und also unabhängig von dessen Aufstellung. Er kann demgemäss auch wohl ohne Rücksicht auf diese bestimmt werden. Die zu diesem Zwecke verwendeten Methoden nehmen aber doch in gewisser Weise Rücksicht auf die Benutzung des in Betracht kommenden Instrumentes je nach seiner Aufstellung im Meridian, im I. Vertikal oder im beliebigen Azimuthe und zwar in sofern, als meist nur in ersterem Falle Kollimatoren in Benutzung genommen werden. Weiterhin wird verschieden verfahren, je nachdem in der Fadenebene ein beweglicher Vertikalfaden vorhanden ist, also eine mikrometrische Bestimmung gemacht werden kann oder nicht.

1. Da fast alle jetzt in Benutzung befindlichen Durchgangsinstrumente wenigstens mit einem beweglichen Vertikalfaden ausgestattet sein werden, dessen Verschiebung an der getheilten Trommel der Bewegungsschraube abgelesen werden kann, so dürfte als einfachste Art der Bestimmung des Kollimationsfehlers die zu bezeichnen sein, dass man die Entfernung des Mittelfadens von irgend einem gut definirten Punkte, der in der Nähe desselben im Gesichtsfelde erscheint, misst, mag er nur einem zufällig vorhandenen Objekte oder einem besonders zu diesem Zwecke in der gehörigen Entfernung aufgestellten (einer Mire) angehören.[1]) Wird nach der Umlegung des Instruments in den Lagern (oder sollte das, wie bei kleinen Universalen nicht möglich sein, nach deren Drehung der Absehenslinie um genau 180°) die Abweichung von demselben Punkt wieder gemessen, so ist der Kollimationsfehler gleich Null, wenn der Abstand in beiden Lagen, auch dem Sinne nach, derselbe ist. Ist dieses aber nicht der Fall, so hat man $c = {}^1/_2\,(\mathrm{I} - \mathrm{II})$, wenn I die Ablesung der Schraubentrommel in der ersten und II diejenige in der zweiten Lage des Instrumentes ist.

---

[1]) Es ist klar, dass zu dem hier in Frage kommenden Zwecke sich die Marke in jedem beliebigen Azimuthe befinden kann. Für fest aufgestellte Instrumente wird sie natürlich in dem betreffenden Vertikal, in welchem die Durchgänge beobachtet werden sollen, zu wählen sein.

Ist das anvisirte Objekt in der Nähe des Horizontes gelegen, so ist die Form der Zapfen auf das Resultat ohne Einfluss, bei beträchtlicher Höhe muss aber eine etwaige Ungleichheit derselben in Rechnung gezogen werden, indem dieselbe mit dem Cosinus der Zenithdistanz in das Resultat eingeht. Es ist klar, dass an die Stelle einer entfernten Mire auch das Fadennetz eines auf Unendlich eingestellten Kollimators treten kann, wie es thatsächlich sehr häufig der Fall ist.

Beispiel: Trommelablesung:

Kollimatorfaden		Mittelfaden		
I. Kr. Ost. Rev.	II. Kr. West Rev.	Kr. Ost Rev.	Kr. West Rev.	I.-Mfd. II.-Mfd.[1] Rev. Rev. 0,99 1,29
5,32	5,62	4,34	4,32	
5,36	5,64	4,36	4,36	$I-II = 0{,}30$ Rev. $c = 0{,}15$ Rev.
5,34	5,63	4,35	4,34	Und mit 1 Rev. $= 3^s{,}00$ $c = 0^s{,}45$

Mit Umgehung der Einstellung auf den Mittelfaden hätte man erhalten: $I-II = 0^s.29$; $c = \frac{1}{2}(0{,}29) = 0^s{,}435$.

2. Ist in der Durchgangsebene des Instruments auf jeder Seite ein Kollimator aufgestellt, so kann man auch für den Fall, dass das Instrument nicht umlegbar ist (Greenwich, Paris etc.), den Kollimationsfehler dadurch bestimmen, dass man zunächst die beiden Kollimatoren so auf einander einstellt, dass ihre Absehenslinien genau zusammenfallen, was durch Verschieben der einen Kollimator-Fadenplatte, welche dazu eingerichtet sein muss, geschehen kann, die Absehenslinien beider schliessen dann genau 180^0 ein.[2]) Richtet man das Fernrohr des Hauptinstruments zuerst auf den einen der Kollimatoren und sodann auf den anderen, so wird man mittelst des beweglichen Fadens in beiden Fällen die Winkel zwischen den Absehenslinien der Kollimatoren und der des Durchgangsinstruments messen können, seien dieselben resp. d_s und d_n, so muss dann offenbar sein

$$d_n + c = d_s - c \text{ oder } 2c = d_s - d_n$$

$$c = \frac{d_s - d_n}{2},$$

wo das Vorzeichen wieder nach den oben gegebenen Vorschriften durch eine ganz einfache Überlegung festgesetzt werden kann.[3])

[1]) Die Bezugnahme auf den Mittelfaden ist deshalb in der Praxis immer angebracht, da es vorkommen kann, dass die Trommelangabe für die Koincidenzstellung vom beweglichen und Mittelfaden nicht in beiden Lagen genau dieselbe ist.

[2]) Das kann dadurch geschehen, das man das Durchgangsinstrument etwas aus seinen Lagern hebt (früher meist geschehen) oder dass man den Kubus desselben durchbohrt, um für die Gesichtslinien des Kollimators eine freie Durchsicht zu erhalten. Die Grösse dieser Durchbohrung muss so gewählt werden, dass die Öffnungen der Kollimatoren so viel wie möglich ganz zur Wirkung kommen, und diese wieder sollen immer so nahe wie möglich der des Hauptinstruments gleich sein. Über den Einfluss etwaiger Abblendungen der Gesichtslinie des Kollimators vergl. die betreffenden Untersuchungen in Greenwich, Monthly Notices, Bd. XLVI, S. 329 u. den Artikel von Wislicenus in Astron. Nachr., Bd. 128.

[3]) Wegen der speciellen Anordnung der beiden Kollimatoren, die unter Umständen auch die Form kleiner Durchgangsinstrumente haben können vergl. Kollimatoren und Miren.

3. Eine andere Methode der Bestimmung des Kollimationsfehlers, die aber nicht mehr ganz unabhängig von den Aufstellungsfehlern (Neigung) ist, ergiebt sich aus der Beobachtung des Spiegelbildes des Fadennetzes in einem Quecksilberhorizont.

Die Anwendung der Kollimatoren ist, wie früher schon gesagt, fast ausschliesslich auf die Nähe des Horizontes angewiesen, da die Einrichtung der Kollimatoren in anderen Lagen auf grosse Schwierigkeiten stösst, die man allerdings schon auf den verschiedensten Wegen, aber immer ohne Erfolg zu umgehen versucht hat. Deshalb ist es wünschenswerth neben der Benutzung eines oder zweier Kollimatoren auch noch die Bestimmung von c in senkrechter Stellung des Fernrohrs auszuführen. Wird also zu diesem Zwecke senkrecht unter dem Fernrohr ein Quecksilberhorizont aufgestellt, dessen Durchmesser mindestens um 4—6 cm grösser sein muss, als die Öffnung des Objektivs, so dass Randtheile des Horizontes ausser Benutzung bleiben, und man beleuchtet das Gesichtsfeld von oben durch Aufsetzen eines Gaussschen Okulars oder besser noch durch ein einfaches Glasblättchen in der in Fig. 951 dargestellten Fassung, so wird im Gesichtsfeld ein Bild des Fadennetzes erscheinen, vergl. Kapitel Axen, S. 311. Aus der Messung des Abstandes des Bildes des Mittelfadens von diesem selbst bekommt man den doppelten Winkel, welchen die Absehenslinie mit der Vertikalen macht. Dieser Winkel ist offenbar zusammengesetzt aus dem Kollimationsfehler c und der Neigung i der Horizontalaxe. Kennt man die letztere (vergl. S. 311), so hat man, wenn d der gemessene Abstand ist

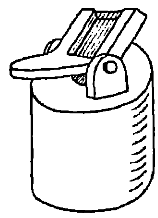


Fig. 951.

$$d = c + i, \text{ also } c = d - i.$$

Ist das Instrument nicht umlegbar, so kann man also auf diesem Wege, wenn i z. B. durch die Libelle bestimmt ist, c finden, oder wenn c anderweit (aus Kollimationsbeobachtungen) bekannt ist, lässt sich i finden. Ist dagegen das Instrument umlegbar, so hat man offenbar in der einen Lage, abgesehen von einer etwa besonders in Rechnung zu ziehenden Zapfenungleichheit, dieselbe Neigung wie in der zweiten Lage, und es ergiebt sich dann aus den beiden Werthen für d ($d_{\text{Kr. West}}$ und $d_{\text{Kr. Ost}}$) oder, wie es oben bezeichnet wurde, aus I und II der Kollimationsfehler als

$$c = \frac{1}{2}(I - II) = \frac{1}{2}(d_w - d_o)$$

und wie schon früher gezeigt

$$i = \frac{1}{2}(I + II) = \frac{1}{2}(d_w + d_o).$$

Die Messung der Entfernung zwischen Mittelfaden und dessen Spiegelbild kann einmal auf die gewöhnliche Weise dadurch erfolgen, dass man die Koincidenz des beweglichen Fadens mit dem Mittelfaden sowohl, als mit dessen Spiegelbild bestimmt und dadurch ohne weiteres die Werthe von d erhält, oder aber in zweckmässiger Weise so, dass man dem beweglichen Faden und damit dessen Spiegelbild die Stellungen der Fig. 952 giebt. Dadurch erhält man den dreifachen Betrag von d, und es werden dann die etwaigen Einstellungsfehler in das Resultat nur mit einem Drittel resp. einem Sechstel ihres Werthes eingehen. Die Schätzung der drei gleichen Intervalle

ist, falls dieselbe in angemessener Grösse (10—15 Bogensekunden) gehalten werden, äusserst genau.[1])

4. Für den Fall, dass das Durchgangsinstrument keinen beweglichen Faden besitzt,[2]) ist man auf die Beobachtung der Durchgänge von polnahen Sternen in beiden Lagen des Instrumentes beschränkt. Da das gewöhnlich nur bei kleinen, leicht umlegbaren Instrumenten der Fall sein wird, ist diese Methode auch gut ausführbar, und selbst für grosse Instrumente gewährt sie bei richtiger Wahl des Sternes (so dass zum Umlegen die genügende Zeit bleibt) den Vortheil einer guten Kontrole. Allerdings ist eine genaue Kenntniss der Fadendistanzen nöthig, wenn sich Kollimationsfehler und Azimuth auf denselben Punkt des Gesichtsfeldes beziehen sollen. Aus der Gleichung (3) folgt, dass für Kreis West und für Kreis Ost die Vorzeichen $c \sec \delta$ wechseln und dass demgemäss aus der Beobachtung ein und desselben Sternes in gleicher Kulmination $2 c \sec \delta$ unmittelbar gefunden werden kann, also auch

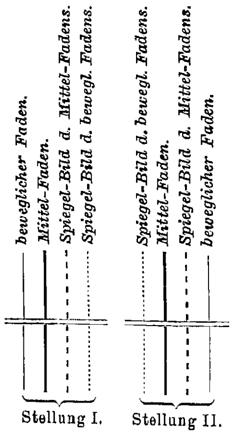


Fig. 952.

$$c = \frac{U_w' - U_o'}{2 \sec \delta},$$

wo U'_w und U'_o die auf den Mittelfaden reducirten und eventuell wegen verschiedener Neigung in beiden Lagen korrigirten Uhrzeiten der Durchgänge des Sternes sind.

b. Neigung der Umdrehungsaxe.

Die geometrische Axe der beiden Zapfencylinder eines Durchgangsinstrumentes soll horizontal liegen. Diese Linie kann nicht direkt der Prüfung unterworfen werden, vielmehr kann sich diese nur auf die Lage der die Zapfen bildenden Körper, (welche konaxiale Cylinder von gleichem Durchmesser sein sollen) erstrecken. Sind aber unter der gemachten Voraussetzung die gemeinschaftlichen Seitenelemente der Zapfen horizontal, so sind es natürlich deren Axen auch. In den meisten Fällen erfolgt diese Prüfung oder die Messung einer vorhandenen Abweichung durch ein aufgesetztes oder angehängtes Niveau.[3])

Bei kleinen Instrumenten pflegt man wohl die Lage der Axe mittelst des Niveaus stets zu korrigiren, so dass diese durch Einspielen der Niveaublase in den Grenzen der zu erstrebenden Genauigkeit als horizontal angesehen werden kann. Für grössere, fest aufgestellte Instrumente aber würde das nicht ausreichen und man benutzt sodann das Niveau als Messinstrument für die Neigung. Was man auf diese Weise findet, ist zunächst die Neigung der Linie BB' in Fig. 953, indem man durch Umsetzen der Libelle deren

---

[1]) Die bei Chauvenet angegebene Methode der Messung des Abstandes zwischen Faden und Bild mittelst des Deklinations-Mikrometerfadens ist sehr bedenklich, da die Schätzung der Gleichheit zweier benachbarter Rechteckseiten als gleich fast nie zutrifft, was sich z. B. leicht erkennen lässt, wenn man ein solches „Quadrat" rechtwinklig zur ersten Lage betrachtet.

[2]) Der bewegliche Faden im Hauptfernrohr kann natürlich auch ersetzt werden durch einen solchen im Kollimator.

[3]) Es ist durchaus erforderlich, dass sowohl die Lagerpunkte als die Stellen, an denen das Niveau auf den Zapfen aufruht, in gleichen Querschnitten derselben liegen müssen.

Nullpunksfehler eliminirt. Sind die Zapfen thatsächlich cylindrisch geformt und von gleichem Durchmesser, so wird die Linie BB' aber auch parallel der Centrallinie CC' sein, und es wird somit auch zugleich deren Neigung gegen den Horizont gefunden sein. Bezüglich des in diesem einfachen Falle einzuschlagenden Verfahrens kann auf die in den Kapiteln „Niveau" und „Axen" gegebenen Vorschriften verwiesen werden. Anders verhält sich die Sache, wenn die Zapfen nicht von cylindrischer Form oder nicht von gleichem Durchmesser sind. Der erste Fall ist auch in dem zweiten der oben erwähnten Kapitel erläutert und spielt bei der Untersuchung der Zapfen eine Rolle. Hier kommt es ausschliesslich auf die Gestalt der beiden benutzten Zapfenquerschnitte an, und auf die wegen solcher Verschiedenheit an die auf gewöhnliche Weise ermittelte Neigung anzubringende Korrektion.

Es ist dazu zunächst erforderlich die Differenz der Zapfenradien zu bestimmen, und zwar sollte das bei genauen Untersuchungen für möglichst verschiedene Neigungen der Absehenslinie des Fernrohrs geschehen, was mit Hülfe des Niveaus leicht möglich ist. Gerade diesem Umstande verdankt das Niveau heute im Wesentlichen noch seine Anwendung, obgleich der Quecksilberhorizont in bestimmten Lagen eine sicherere Bestimmung der Neigung gestattet.

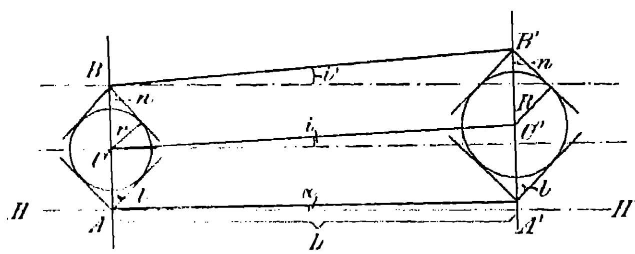


Fig. 953.

Es seien in Fig 953 A und A' die tiefsten Punkte der Zapfenlager, deren Winkel 2 l, ebenso B und B' die höchsten Punkte der Libellenfussausschnitte und deren Winkel 2 n, während CC' die Centrallinien der Zapfen, R resp. r die Radien derselben und L die Entfernung der Lagerquerschnitte bedeutet, dann hat man, wenn i' die Neigung von BB' für den Fall, dass R in A' liegt, und wenn i'' dieselbe nach dem Umlegen (also r in A' liegend) ist, und wenn ausserdem die Linie AA' die konstante Neigung von α Sekunden besitzt:

(1) .. $i' = \alpha + (H - h)\,\frac{1}{L}\sin 1''$ und $i'' = \alpha - (H - h)\,\frac{1}{L}\sin 1''$, wo

$$H = R\left(\frac{1}{\sin l} + \frac{1}{\sin n}\right) \text{ und } h = r\left(\frac{1}{\sin l} + \frac{1}{\sin n}\right)$$

$$\text{also } H - h = (R - r)\left(\frac{1}{\sin l} + \frac{1}{\sin n}\right) \text{ ist.}$$

Damit wird $i' - i'' = \frac{2}{L}(H - h)\sin 1'' = \frac{2}{L}(R - r)\,\frac{\sin n + \sin l}{\sin l \sin n}\sin 1''$.

(2) .. Also $R - r = (i' - i'')\,\frac{L}{2}\,\frac{\sin l \sin n}{\sin l + \sin n}\sin 1''$.

Nimmt man nun an, dass die Winkel l und n sehr nahe gleich 45° sind, so geht die Gleichung (2) über in:

$$(3) \quad . \; . \; R - r = \frac{1}{2}(i' - i'')\, L \sin 1'' \frac{\sqrt{2}\sqrt{2}}{2\sqrt{2}} = \frac{1}{4}(i' - i'')\, L \sqrt{2} \sin 1''.$$

Um auf diese Weise die Differenz der Zapfenradien zu bestimmen, hat man also nur nöthig, in beiden Lagen des Instruments sorgfältige Nivellirungen zu machen und die Differenz beider Neigungsresultate mit $\frac{1}{4}$ L sin 1″. $\sqrt{2}$ zu multipliciren.

Es ist natürlich für die Gewinnung eines guten Resultates wünschenswerth, Nivellirungen und Umlegen mehrmals zu wiederholen, wobei mit grosser Vorsicht zu verfahren ist, damit sich während dieser Vorgänge die Neigung der Linie AA′ nicht ändert.

Die Korrektion, welche man auf Grund solcher Nivellements an die gefundene Neigung der Linie BB′ anzubringen hat, um diejenige i der Centrallinie CC′, welche ja eigentlich nur von Interesse ist, zu erhalten, bestimmt sich nach Obigem leicht, indem man zu setzen hat

$$(4) \quad . \; . \; . \; . \; . \; i = i' - \left(\frac{R}{\sin n} - \frac{r}{\sin n}\right) \frac{1}{L \sin 1''}$$

$$i = i' - \frac{R - r}{\sin n} \cdot \frac{1}{L \sin 1''} = i' - \frac{\frac{1}{4}(i' - i'')\, L\sqrt{2}}{L \sin n} \quad \text{und}$$

$$(5) \text{ für } n = 45^0\text{:} \quad . \; . \; . \quad \begin{cases} i = i' - \frac{1}{4}(i' - i'') \\ i = i'' + \frac{1}{4}(i' - i''). \end{cases}$$

D. h. also die Korrektion kann ohne weitere Kenntniss der Zapfenungleichheit selbst aus dem Nivellement in beiden Lagen gefunden werden und ist gleich dem vierten Theile der gefundenen Differenz.

Die Bestimmung der Neigung der Horizontalaxe kann aber, wie bei der Erläuterung betreffs des Kollimationsfehlers gezeigt worden ist, auch mit Hülfe des Quecksilberhorizontes ausgeführt werden. Diese Methode ist zwar leider weniger allgemein anwendbar (nicht in beliebigen Zenithdistanzen), wohl aber ist sie, wie alle auf Autokollimation beruhenden, erheblich sicherer und genauer. Bezüglich der näheren Ausführung enthält das Frühere die nöthigen Daten, nur ist zu bemerken, dass auch hier wegen eventueller Zapfenungleichheit eine Korrektion angebracht werden muss, wobei aber zu berücksichtigen ist, dass man in diesem Falle statt der Neigung von CC′ nicht die von BB′, sondern die von AA′ erhält und demgemäss das Vorzeichen der erwähnten Korrektion gewählt werden muss.

Zieht man zur Bestimmung der Fehler eines Durchgangsinstrumentes, wie es weiterhin bei Ableitung des Azimuths doch geschehen muss, die Beobachtung von Gestirnen hinzu, so liefern allerdings auch die Zeiten des Durchgangs eines solchen Gestirnes durch den Mittelfaden bei direkter Beobachtung und bei derjenigen des in einem Quecksilberhorizont reflektirten Bildes desselben ein Mittel für die Bestimmung der Neigung, denn diese wird die betreffenden Durchgangszeiten in verschiedener Weise beeinflussen.

Sowohl beim Vorhandensein eines Kollimationsfehlers, als auch dann, wenn die Axe nicht genau von Ost nach West zeigt, also ein Azimuthfehler vorhanden ist, steht doch die Ebene desjenigen Kreises, welchen die Gesichtslinie am Himmel beschreibt, senkrecht zum Horizont, und es bleiben daher auf diesen bezogen die Korrektionen nur von der Zenithdistanz abhängig, behalten aber auf der gleichen Hälfte des Meridians auch dasselbe Vorzeichen für direkte und reflektirte Bilder. Anders ist es, wenn die Umdrehungsaxe gegen den Horizont geneigt ist, dann wird auch, bei sonst fehlerfreiem Instrument, der von der Absehenslinie beschriebene grösste Kreis nicht mehr senkrecht zum Horizont stehen. Da aber dann bei der Reflexion der einfallende und austretende Strahl mit dem Einfallslothe in einer Ebene liegen müssen, so ist vom Centrum des Instruments aus gesehen, die Stelle des Himmels, nach welcher bei direkter Beobachtung die Absehenslinie zeigt, auf der einen Seite des Meridians (z. B. östl. desselben) und bei reflektirter Beobachtung auf der entgegengesetzten (also der westlichen Seite). Daraus ist sofort klar, dass bei sonst fehlerfreiem Instrument die Durchgangszeit (T) eines Gestirnes durch den Meridian bei direkter Beobachtung erhalten wird als

$$T = U + i \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta}$$

$$T = U - i \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta},$$

wenn U die Durchgangszeit durch den Mittelfaden und i die Neigung der Horizontalaxe ist.

Durch Kombination einer direkten und einer reflektirten Beobachtung, am besten desselben Sterns, ist also ohne weiteres auch der Werth von i zu finden. Es empfiehlt sich, dazu Sterne in der Nähe des Poles zu nehmen, weil erstens in höheren Breiten für solche der Koefficient $\frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta}$ ziemlich gross wird, und weil zweitens bei langsamer, scheinbarer Bewegung für denselben Stern sowohl eine Reihe von Fäden direkt, als auch eine Reihe bei reflektirten Bildern beobachtet werden kann. Im Übrigen sind natürlich sowohl die Koefficienten des i, als auch die Bedingungen der Reflexion für kleine Zenithdistanzen am günstigsten.

c. Azimuth der Horizontalaxe.

Dieser Fehler eines Durchgangsinstrumentes ist, wie die Neigung, ein sogenannter Aufstellungsfehler, während die Kollimation ein Instrumentalfehler im engeren Sinne sein würde; er kann nicht ohne Zuhülfenahme von Sternbeobachtungen bestimmt werden, da wir nicht ohne solche eine Linie oder Ebene angeben können, welche genau von Ost nach West zeigt.

Es ist deshalb am einfachsten, sofort mit Voraussetzung der Beziehungen zwischen Durchgangszeit durch den Mittelfaden und der durch den Meridian, wie sie z. B. die für solche Betrachtungen geeignetste Mayer'sche Reduktionsformel giebt, die Auffindung der Azimuthkorrektion k zu zeigen.

Würde weder ein Kollimationsfehler, noch eine Neigung der Horizontalaxe vorhanden sein, so hätte man, wie oben für die Neigung

$$T = U + k \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta};$$

und aus dieser Beziehung ergiebt sich sofort, dass das Vorzeichen des Koefficienten von k wechselt, sobald $\varphi - \delta$ negativ wird, d. h. sobald das Gestirn auf derjenigen Hälfte des Meridians kulminirt, auf welcher der sichtbare Pol liegt. Werden also die Durchgänge zweier Gestirne durch den Mittelfaden mit einander kombinirt und bei der Auswahl derselben den eben erwähnten Umständen Rechnung getragen, so hat man, wenn, wie bemerkt, das Instrument sonst berichtigt, oder die Durchgangszeiten wegen der unabhängig gefundenen Kollimation und Neigung korrigirt sind, für den einen Stern

$$T_1 = U_1 + k \frac{\sin(\varphi - \delta_1)}{\cos \delta_1},$$

für den anderen
$$T_2 = U_2 + k \frac{\sin(\varphi - \delta_2)}{\cos \delta_2}.$$

Als Differenz $T_1 - T_2 = U_1 - U_2 + k \left(\frac{\sin(\varphi - \delta_1)}{\cos \delta_1} - \frac{\sin(\varphi - \delta_2)}{\cos \delta_2} \right)$

oder wenn allgemein $T = \alpha + \triangle u$

ist, wo $\triangle u$ den Stand der Uhr bedeutet, hat man unter der Voraussetzung, dass die Beobachtung der beiden Gestirne so kurz hinter einander erfolgt, dass eine Veränderung von $\triangle u$ vernachlässigt werden kann, oder dass eine diesbezügliche Korrektur an die Uhrzeiten angebracht wird:

$$\alpha_1 - \alpha_2 = U_1 - U_2 + k \left(\frac{\sin(\varphi - \delta_1)}{\cos \delta_1} - \frac{(\sin(\varphi - \delta_2)}{\cos \delta_2} \right).$$

Also $k = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) - (U_1 - U_2)}{K_1 - K_2}$, wenn, wie es gewöhnlich geschieht, die Koefficienten von k aus Tafeln entnommen und der Kürze wegen mit K_1 und K_2 bezeichnet werden.[1])

Der obigen Formel kann man auch die Form geben:

$$k = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) - (U_1 - U_2)}{\cos \varphi (\operatorname{tg} \delta_1 - \operatorname{tg} \delta_2)},$$

woraus zunächst hervorgeht, dass k um so genauer bestimmt wird, je grösser der Unterschied zwischen δ_1 und δ_2 ist, dass er also möglichst nahe 90^0 gewählt werden sollte. Tritt für den einen Stern eine untere Kulmination ein, so ist für dessen δ der Werth $180^0 - \delta$ einzuführen, womit sich das Zeichen von $\operatorname{tg}\delta$ umkehrt und statt der Differenz der Tangenten im Nenner des Ausdruckes für k die Summe derselben auftritt, was bei richtiger Wahl den absoluten Werth des Nenners erheblich vergrössern, und damit die Ableitung des Azimuths noch verschärfen kann. Ist das Instrument so stabil aufgestellt und die benutzte Uhr so gut, dass man ihnen auf 12 Stunden vertrauen kann, so empfiehlt es sich sehr, die obere und untere Kulmination desselben dem Pol nahen Sternes zu beobachten; dann tritt an Stelle von $\alpha_1 - \alpha_2$ nur die durch Präcession und Nutation bewirkte Änderung in der scheinbaren Rektascension des Gestirnes, und man wird von dem absoluten Ort desselben ganz unabhängig, während der Nenner übergeht in $2 \cos \varphi \operatorname{tg} \delta$, sodass man hat

[1]) Vergl. z. B. Albrecht's Hülfstafeln zu Geographischen Ortsbestimmungen.

$$k = \frac{\triangle \alpha - \triangle u}{2 \cos \varphi \operatorname{tg} \delta},$$

wenn $\triangle u$ der Uhrgang während der zwischen liegenden 12 Stunden bedeutet.

Da es nicht immer möglich ist, solche Azimuthbestimmungen in der gewünschten Ausführlichkeit zu machen, pflegt man zugleich mit solchen Bestimmungen auch noch Miren oder Meridianzeichen abzulesen und auf diese Weise auch das Azimuth bestimmter Skalentheile auf denselben, oder des Lichtscheibchens derselben mittelst des Mikrometerapparates des Fernrohrs festzulegen, wodurch man dann für den Fall, dass eine direkte Azimuthbestimmung nicht möglich oder zweckmässig ist, indirekt das Azimuth der Horizontalaxe finden kann; vergl. Kapitel „Miren“.

Setzt man nach diesen Einzelbetrachtungen die verschiedenen Korrektionen, welche wegen der einzelnen Instrumentalfehler an die Durchgangszeiten eines Gestirnes durch den Mittelfaden anzubringen sind, um die Zeit des Durchgangs durch den Meridian zu erhalten, zusammen, so bekommt man die schon oben angegebene allgemein gültige Beziehung:

$$T = U + i \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + k \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + c \sec \delta.^{1)}$$

Dabei ist angenommen, dass

1. i positiv, wenn das Westende der Axe zu hoch liegt.
2. k positiv, wenn das Westende der Axe ein Azimuth hat, welches kleiner als 90° ist, vom Südpunkt an gerechnet.
3. c positiv, wenn der Winkel zwischen Absehenslinie und Westende der Axe auf der Seite des Objektivs grösser als 90° ist.

D. h. die Korrekturen sind alle positiv zu nehmen, wenn das Gestirn durch ihren Einfluss die Ebene des Mittelfadens früher passirt als die Ebene des Meridians.

Mit Berücksichtigung des oben über die Änderung des Einflusses der Instrumentalfehler Gesagten, erhält man für die beiden Lagen eines Durchgangsinstrumentes und für obere und untere Kulmination der Gestirne das folgende Formelsystem, welches hier nochmals die Einwirkung der einzelnen Instrumentalfehler im Zusammenhang darstellt:

Obere Kulm.	$T = U + i \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + k \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + c \sec \delta$	Kreis (Klemme) West.
	$T = U + i \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + k \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta} - c \sec \delta$	„ „ Ost.
Untere Kulm.	$T = U + i \frac{\cos(\varphi + \delta)}{\cos \delta} + k \frac{\sin(\varphi + \delta)}{\cos \delta} - c \sec \delta$	„ „ West.
	$T = U + i \frac{\cos(\varphi + \delta)}{\cos \delta} + k \frac{\sin(\varphi + \delta)}{\cos \delta} + c \sec \delta$	„ „ Ost.

[1]) Dabei ist zu bemerken, dass eine solche einfache Aneinanderreihung der Einzelkorrektion nur dann gültig ist, wenn die i, k und c sehr klein sind; denn ausserdem würden auch Glieder mit deren Produkten u. s. w. auftreten, wie sie Verwandlungen der strengen sphärischen Ausdrücke in Reihen bedingen würden; vergl. darüber die Lehrbücher der sphärischen Astronomie.

Für manche Beobachtungen (z. B. Bestimmung von Rektascensionen vieler Sterne auf Grund weniger Fundamentalsterne) ist es zweckmässig, in die Reduktionsformeln nicht das Azimuth und die Neigung der Horizontalaxe, sondern die Deklination (n) und den Stundenwinkel (m) derselben resp. von deren Westende einzuführen, wenn auch dem Wesen des Instrumentes die obigen (Mayer'schen) Formeln allein entsprechen und man namentlich Korrekturen an dem Instrument immer nur im Sinne des Azimuths und der Neigung vornehmen kann. Reduktionsformeln, in denen n und m oder i und n an die Stelle der i und k treten, sind von BESSEL und HANSEN aufgestellt worden, und es ist auch leicht, jene Konstanten direkt aus den Beobachtungen abzuleiten, sobald die Beziehungen zwischen ihnen und den Differenzen der Durchgangszeiten und Rektascension aufgestellt werden.

An dieser Stelle soll aber nicht weiter auf die betreffenden Formeln eingegangen werden, da sie sich in jedem Lehrbuche der sphärischen Astronomie und dahin gehörigen Tafelsammlungen (namentlich von ALBRECHT) in ausführlicher Weise vorfinden. Was die Bestimmung der entsprechenden Fehler für ein Durchgangsinstrument im I. Vertikal oder im Vertikal des Polarsterns anlangt, so muss auch hier auf die Specialliteratur verwiesen werden, da die betreffenden Änderungen nicht in der Natur des Instruments, sondern in der eigenthümlichen, dem Specialfalle angepassten Verwendung ihren Grund haben und daher ihre Erläuterung ebenfalls in das Gebiet der sphärischen Astronomie und nicht in das der Instrumentenkunde gehört.[1])

d. Physiologische Fehlerquellen.

Durch die Unvollkommenheit unserer Sinne werden auch bei Durchgangsbeobachtungen Fehler hervorgebracht, indem die Auffassung des Durchgangs eines Gestirnes durch einen Faden nicht im selben Zeitpunkt, in welchem das Auge ihn wahrnimmt, durch das Ohr mit den Schlägen einer Uhr oder durch elektrische Registrirung mit dem Sekundenkontakte eines Registrirapparates in Vergleich gesetzt werden kann. Diese Unterschiede können abhängig sein sowohl von der scheinbaren Bewegungsgeschwindigkeit des Gestirns im Gesichtsfelde des Fernrohrs, von der Helligkeit des Gestirns und weiterhin besonders von der Individualität des Beobachters. Man nennt im Allgemeinen diese Differenzen die „persönliche Gleichung" des Beobachters und kann demgemäss eine solche für die einfachen Durchgangsbeobachtungen ansetzen, aber auch für denselben Beobachter von einer „Lichtgleichung" reden, sofern man die Unterschiede der Auffassung für verschieden helle Gestirne allein in Betracht zieht. Es wäre dann im ersteren Falle noch zu unterscheiden, ob man den Unterschied in der Auffassung zweier Beobachter zu einander kennen lernen will, die relative oder schlechthin die persönliche Gleichung derselben, oder ob man zu erfahren bestrebt ist, wie viel die aus der Beobachtung hervorgehende Zeit für den Eintritt eines

[1]) Es ist dieserhalb auch auf die betreffenden Abhandlungen von Encke, Berl. Astron. Jahrbuch, N. Herz, „Publ. d. v. Kuffner'schen Sternwarte" und auf die mehrfachen Abhandlungen von Döllen zu verweisen.

Phänomens (allgemein) hinter[1]) dem wahren Moment des Eintritts liegt, d. h. die absolute persönliche Gleichung.

Das erstere Zeitintervall ist verhältnissmässig leicht,[2]) das zweite aber nur mit Zuhülfenahme besonderer Apparate zu bestimmen. Auch die Lichtgleichung lässt sich leicht bestimmen und es mag bezüglich dieser hier nur kurz erwähnt werden, dass man einfach durch gleichmässige Gitterschirme (aus feiner Gaze oder dergleichen), welche man vor dem Objektive anbringt, das Licht der Sterne in verschiedener Stärke abblendet und sodann die Antritte an symmetrisch zum Mittelfaden gelegenen Fäden je mit und ohne Gitter beobachtet. Die beiden Werthe für den Durchgang durch den Mittelfaden, welche man sodann für die Beobachtung bei voller Helligkeit und bei Abblendung erhält, geben in ihrer Differenz sofort für den gewählten Grössen-(Helligkeits-)Unterschied die gewünschte Lichtgleichung für den betreffenden Beobachter. Durch verschieden dichte Gitter lässt sich so die volle Skala für die einzelnen Grössenklassen leicht finden. Natürlich müssen wegen des geringen Betrags der Lichtgleichung gegenüber der Beobachtungsunsicherheit überhaupt solche Vergleichungen sehr vervielfältigt werden, wenn zuverlässige Resultate erlangt werden sollen.

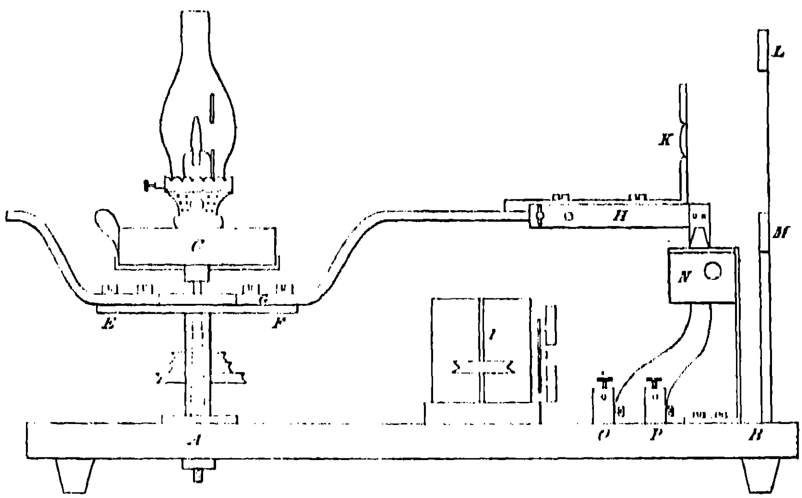


Fig. 964.

Zur Ermittlung des absoluten persönlichen Fehlers für Durchgangsbeobachtungen hat man eine ganze Reihe von Apparaten konstruirt. Dieselben leiden aber meist an dem Fehler grosser Komplikation und es sollen an dieser Stelle deshalb nur drei derselben näher beschrieben werden, während ich im Übrigen auf die specielle Literatur verweisen muss. F. Kayser in Leiden war wohl der Erste, der einen brauchbaren Apparat angab.

[1]) Es kommt aber sogar vor, dass man z. B. den Durchgang eines Gestirnes durch einen Faden schon registrirt bevor er noch erfolgt ist.

[2]) Durch abwechselungsweises Beobachten desselben Gestirnes an symmetrisch gelegenen Fadengruppen oder dadurch, dass die beiden Beobachter an verschiedenen Abenden die gleichen Gestirne in abwechselnder Reihenfolge beobachten. Auch Doppelokulare hat man zu diesem Zweck, aber mit geringem Erfolg konstruirt.

Derselbe ist heute noch zu empfehlen und deshalb in Fig. 954 dargestellt, da er sich mit sehr einfachen Mitteln herstellen lässt.[1])

Auf einem starken Brett A B steht bei A eine eiserne Säule, welche auf ihrem oberen mit einem Teller versehenen Ende die Lampe C trägt. Um diese Axe dreht sich das Rohr R mit dem Aufsatz E F, an welchem 8 (4) Arme angeschraubt sind (in der Figur nur einer sichtbar). Durch das Uhrwerk J werden diese Arme mittelst eines Schnurlaufes herumgedreht und zwar mit verschiedener Geschwindigkeit, je nach der auf der Büchse benutzten Scheibe. Innerhalb des Cylinders der einfachen Petroleumlampe befindet sich ein zweiter aus Blech mit einer runden Durchbohrung; durch diese gelangt das Licht nach dem Arme K, in dem eine konvexe Linse eingesezt ist, die bei richtiger Justirung auf dem transparenten Schirme L M ein kleines, helles, sternförmiges Bild der Öffnung des Blechcylinders entwirft. Auf diesem Schirme ist eine vertikale Linie gezogen, die den Faden eines Durchgangsinstruments darstellt.

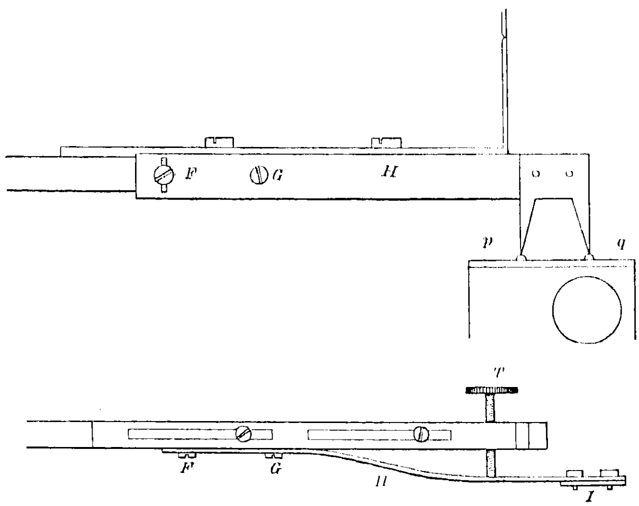


Fig. 955.

Dreht sich nun der Arm G H, so wird das sternförmige Bildchen den Faden passiren. In demselben Moment wird aber durch die Gabel H, welche in Fig. 955 besonders in grösserem Maassstabe dargestellt ist, durch Vermittlung der beiden Quecksilberkuppen bei p und q ein elektrischer Strom geschlossen und so ein Signal auf einem Registrirapparate gemacht. Um die genaue Koincidenz zwischen Sterndurchgang und Stromschluss herzustellen, ist die Gabel F H mittelst der Schraube T korrigirbar mit dem Arme G verbunden. Die beiden Spitzen der Gabel F H streifen beim Vorbeigange des Sternbildchens vor der auf L M gezogenen Linie die Oberflächen der beiden isolirten Quecksilberkuppen, welche aus dem Blocke N hervorragen und die durch Vermittlung der Drähte und Klemmen O und P in den den Registrirapparat in Thätigkeit setzenden Stromkreis der Uhr einbezogen sind. Ist die Regulirung der Gabel H so getroffen, dass der Stromschluss genau im Momente

[1]) Ich folge hier im Wesentlichen der Beschreibung in den Leidener Ann., Bd. II, S. 20 ff.

des Durchgangs des Sternbildchens durch die Linie ML erfolgt, so wird ein Vergleich der so erzeugten Marke auf dem Registrirapparat mit derjenigen, die ein Beobachter durch Schliessung des Registrirstromes hervorbringt, die Zeitdifferenz zwischen dem wirklich stattfindenden Durchgange und der Wahrnehmung des Beobachters angeben. Mit Vortheil ist dieser Apparat sowohl, wie die anderen nur für Registrirbeobachtungen anwendbar, gestattet also, die absolute persönliche Gleichung für Auge — Hand zu bestimmen. Nur durch das Zwischenglied der Phasendifferenz von Uhrschlag und Registrirung der Sekunde würde derselbe auch für die Auge-Ohrmethode brauchbar werden, dabei spielen aber die Stromzeiten eine grosse Rolle, welche sich nur durch umständliche Widerstandseinschaltungen unschädlich machen lassen. Die Einrichtungen, welche M. C. Wolf in Paris[1]) und nach einander Harkness und Eastman angegeben haben, übergehend, ebenso die Apparate von R. Wolf und Bredichin, von denen ersterer recht sinnreich, wenn auch zum Theil etwas komplicirt eingerichtet sind, die letzteren sich aber zu zweckentsprechenden Bestimmungen wohl kaum eignen dürften, werde ich sogleich den von Troughton & Simms mit Zugrundelegung der Wolf'schen Ideen gebauten Apparat kurz beschreiben.[2])

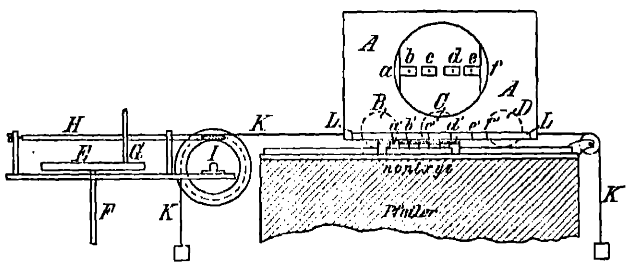


Fig. 956.

Ein Objektiv von $7^1/_2$ Zoll Öffnung bei 51 Fuss Brennweite wird vor dem Objektiv des Meridiankreises angebracht, wenn dessen Fernrohr horizontal gerichtet ist. In der Brennebene dieser Linse von grosser Fokallänge wird die Platte A aufgestellt, Fig. 956, deren kleine Öffnungen b, c, d, e und Segmentausschnitte a und f im durchfallenden Lichte als Sterne, resp. als Theile der Ränder der Sonne, des Mondes u. s. w. erscheinen und mit Hülfe der Kollimationslinie im Fernrohrfokus abgebildet werden. Die Platte A ist auf einem Wagen L befestigt (wie bei C. M. Wolf), welcher sich mittelst dreier Räder B, C und D auf Schienen sehr leicht und gleichmässig durch ein Uhrwerk von Ost nach West oder umgekehrt bewegen lässt. Die Bewegungsgeschwindigkeit kann durch einen sinnreichen Mechanismus in weiten Grenzen variirt werden. Die von einem guten Uhrwerk getriebene vertikale Welle F trägt nämlich am oberen Ende eine horizontale Scheibe E, und auf dieser schleift das auf der Welle H verschiebbare Rad G. Es ist klar, dass die Welle H je nach der Stellung von G langsamer oder schneller

[1]) Annales de l'observatoire de Paris. Bd. VIII. — Bull. Astron. 1892, S. 146 u. 374. — 1893, S. 1 u. 121.

[2]) Monthly Notices, Bd. XLVIII, S. 1.

resp. sogar im umgekehrten Sinne rotirt. Diese Bewegung wird auf den Wagen AA durch Vermittelung des Schnurlaufes K und des Rades J übertragen. In den Rand des letzteren greift die Schraube ohne Ende, in welche die Welle H endigt, ein. Die am unteren Theile des Wagens angebrachten Kontakte a′, b′, c′, d′, e′, f′, resp. diejenigen von n bis z sind dann so justirt, dass bei der Berührung entsprechender Stifte der wahre Antritt der künstlichen Sterne oder Scheibenränder an die Fäden erfolgt, während der Beobachter am Meridiankreis in der gewöhnlichen Weise seine Registrirungen ausführt. Die Unterschiede beider Momente liefern in der oben geschilderten Weise die Daten für die Bestimmung der absoluten persönlichen Gleichung.

Bei den bisher beschriebenen Instrumenten wird die Beobachtung fast immer in einer anderen Stellung des Beobachters, mit anderen optischen Systemen und an künstlichen Sternen ausgeführt, das hat gerade für die Ermittelung solcher physiologischer Fehler erhebliche Bedenken. Deshalb hat Professor van de Sande-Bakhuyzen es versucht, einen Apparat zu bauen, der einen Theil dieser Mängel umgeht. Er hat ihn in den Annalen der Leidener Sternwarte und in der Vierteljahrsschrift der Astron. Gesellschaft 14. Jahrgang Anlage IX beschrieben.

Der Apparat ist im Meridiansaal auf den Pfeiler des Nordkollimators montirt und hat folgende Einrichtung. Als künstlicher Stern dient das Bild der Nordmire, welches sich Nachts bei Beleuchtung mit einem Drummond'schen Kalklicht durch zwei hinter einander stehende Prismen, deren brechende Kanten vertikal und deren gleiche brechende Winkel entgegengesetzt gerichtet sind, ungefähr als Stern vierter Grösse im Fernrohr des Meridiankreises darstellt. Die Prismen sind zunächst so gestellt, dass der von der Mire ausgehende Lichtstrahl beim Durchgang durch dieselben nur parallel zu sich selbst verschoben wird, so dass das Bild der Mire im Gesichtsfeld des Fernrohrs nicht genau in der Mitte, sondern etwas seitlich erscheint. Lässt man nun das eine Prisma 1 in seiner festen Lage und bewegt das andere um seine brechende Kante, so wird der Lichtstrahl bald mehr bald weniger stark abgelenkt, das Bild der Mire verschiebt sich seitlich im Fernrohr und ahmt so die Bewegung eines Sternes nach. An dem beweglichen Prisma ist nun ein langer Arm 2, Fig. 957, aus Messing angebracht, an dessen Ende 510 mm vom Prisma sich ein mit einer galvanischen Batterie in Verbindung stehender, in ein enges Thermometerrohr gefasster Platindraht befindet, welcher senkrecht zur Längsrichtung des Armes und unter demselben hervorsteht. Dieser gleitet über drei in Ebonitcylinder eingelassene feine Platindrähtchen hinweg und schliesst so nach einander dreimal einen Strom. Diese Kontakte sind durch Schrauben verstellbar und lassen sich auf der gemeinsamen Platte 4 so reguliren, dass der Strom jedesmal geschlossen wird, wenn ein Faden im Fernrohr den künstlichen Stern bisecirt. Eine derartige Regulirung wird von zwei Personen in der Weise bewerkstelligt, dass die eine den Messingarm 2 und damit das Prisma so lange bewegt, bis der künstliche Stern hinter einem Faden des Fadennetzes erscheint, danach wird mittelst Schrauben der zu dieser Stellung des Armes gehörende Ebonitcylinder so weit verstellt, dass Stromschluss eintritt. Die andere Person giebt den Moment der Bisecirung des Sternes durch den Faden an und ebenso bei Ein-

stellung des Kontaktes den Moment, wenn dieser eintritt, welcher durch ein in den Stromkreis eingeschaltetes Telephon deutlich wahrnehmbar gemacht wird. Ist die Regulirung erfolgt, so wird ein Uhrwerk in Thätigkeit gesetzt, welches die Bewegung des Messingarmes ausführt, und zwar mit ungleichförmiger Geschwindigkeit, damit die durch die Drehung des Prismas hervorgerufene ungleichförmige Bewegung des Lichtpunktes in eine gleichförmige verwandelt werde. Diese Absicht wird dadurch erreicht, dass ein am Arm 2 befestigter Seidenfaden auf eine excentrische Scheibe 6 aufgewickelt wird. Diese letztere ist mit dem Triebwerk durch ein Sperrad verbunden, wodurch bewirkt wird, dass sie nur in einer Richtung von dem Uhrwerk mitgenommen wird, im entgegengesetzten Sinne jedoch sich, ohne den Gang desselben zu beeinflussen, zurückdrehen lässt. Durch diese Einrichtung kann man also die Beobachtungen beliebig oft wiederholen, ohne den Gang des Uhrwerkes zu stören. In dieser Gestalt ist das Instrument nur bei horizontaler Lage des Fernrohrs zu benutzen; um jedoch bei gegen den Horizont geneigtem Fernrohr das Bild der Mire

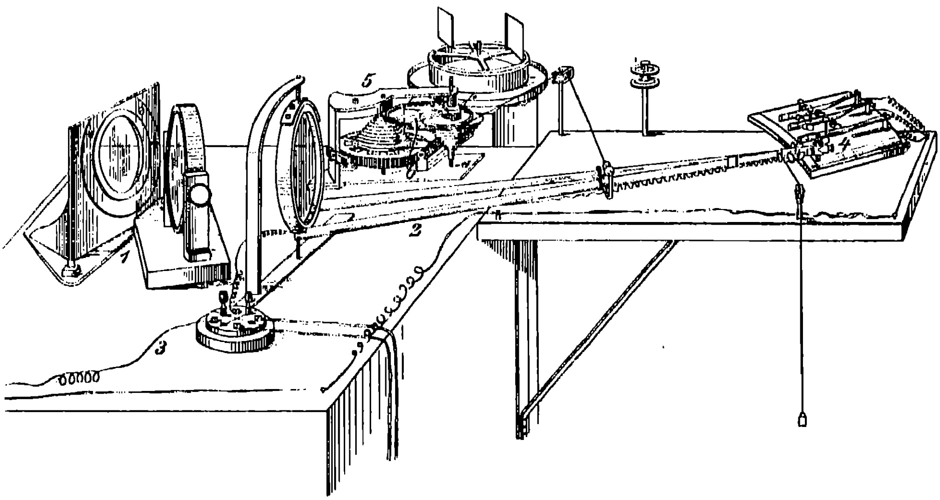


Fig. 957.
(Nach Leidener Annalen, Bd. 7, Tafel I.)

noch in dasselbe gelangen zu lassen, benuzt Professor BAKHUYZEN zwei von MARTIN in Paris gelieferte Planspiegel, welche auf folgende Weise verwendet werden. Um die Fassung des Objektives ist ein Klemmring gelegt, welcher zwei in der Absehensrichtung des Fernrohrs sich erstreckende Arme trägt, zwischen denen der eine Spiegel um zwei diamentral gegenüberstehende Schrauben drehbar angebracht ist. Der zweite findet, getragen von einem Messinggestell, seinen Platz auf einer vom Pfeiler des Meridiankreises nach dem des Kollimators gehenden hölzernen Brücke. Auch er ist um eine horizontale Axe drehbar; ferner ist zur letzten Azimuthaleinstellung eine Feinbewegung angebracht. Auf diesen Spiegel fällt nun bei gehöriger Stellung das Bild des künstlichen Sternes und wird nach dem vor dem Objektiv sitzenden Spiegel reflektirt, wo es durch abermalige Reflexion in die Absehenslinie des Fernrohrs fällt. Auch für die Lage des Fernrohrs bei Reflexbeobachtungen lässt sich mit

Hülfe des Horizonts das Sternbild durch einen Hülfsspiegel in das Fernrohr bringen.[1])

Bei horizontaler Lage des Fernrohres dürfte dieser Apparat, wie auch die erhaltenen Resultate zeigen, vorzügliche Bestimmungen der absoluten persönlichen Gleichung liefern. In anderen Lagen jedoch ist in der Benutzung der Spiegel, in der umständlichen Justirung und darin vielleicht ein Mangel zu finden, dass die Sterndurchgänge immer nur in einer Richtung erfolgen, was den Einfluss eines Justirungsfehlers schwer zu eliminiren gestattet.

Mit Rücksicht darauf hat W. Wislicenus in Strassburg eine Einrichtung angegeben, welche auch diese Mängel vermeiden soll und die leicht an jedem Durchgangsinstrument angebracht werden kann. Die Einrichtung des Apparates ist zunächst dem Strassburger Durchgangsinstrument von Cauchoix angepasst, welches durch ein auf der Innenseite des Objektives aufgekittetes kleines Hohlspiegelchen centrale Beleuchtung des Gesichtsfeldes besitzt. Das durch dieses Spiegelchen zustande kommende sternartige Bildchen benutzt Wislicenus als künstlichen Stern. Da dieses Bildchen immer in der Mitte des Gesichtsfeldes (des Okulars) erscheint,[2]) so gleitet es bei Bewegung des Letzteren über die Fäden hinweg, dadurch war der Bewegungsmodus sofort gegeben. Des Weiteren beschreibt Wislicenus seinen Apparat wie folgt: (Wislicenus, l. c.)[1])

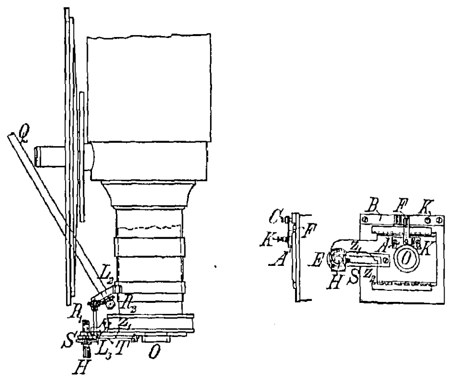


Fig. 958.

Auf dem Okularschlitten, jedoch von demselben durch eine Kautschukunterlage isolirt, ist eine Messingplatte A (Fig. 958 Vorder- und Seitenansicht) durch zwei in Hartgummibüchsen laufende Schrauben befestigt. Auf dieser Platte A ist mittelst der Schraube K, welche zugleich als Klemmschraube für einen Batteriedraht dient, eine stählerne Feder F angebracht, welche an ihrem freien Ende eine Messingplatte trägt, durch die zwei in Platinspitzen auslaufende Messingschrauben C gehen. Diese beiden Platinspitzen schleifen beim Verschieben des Okularschlittens auf einer auf dem Okularkopfe befestigten, aber gut isolirten Messingschiene B, welche eine Klemmschraube K_1 trägt, in die ein zweiter Batteriedraht mündet. Sind also die Drähte einer elektrischen Batterie in die Klemmschrauben K und K_1 auf den Platten A resp. B eingeschraubt, und berührt eine der Schrauben C die Schiene B, so ist der Strom geschlossen. In die letztere sind nun senkrecht zur Bewegungs-

[1]) Wegen specieller Einzelheiten, sowie bezügl. der mit diesem Apparat erlangten Resultate muss ich auf die Abhandlung von Prof. v. d. Sande-Bakhuyzen in dem 7. Bde. der Leidener Annalen verweisen. Man vergleiche dazu die Abhandlung von W. Wislicenus: Untersuchungen über die absoluten persönlichen Fehler bei Durchgangsbeob., Leipzig 1888.

[2]) Ob das streng der Fall ist, hängt von der Entstehungsweise dieses Bildchens und somit von der Form des kleinen Spiegelchens resp. von der Beleuchtungseinrichtung überhaupt ab. Wahrscheinlich betrachtet man das Bildchen der Beleuchtungsöffnung mit dem Okular als Lupe.

richtung des Okularschlittens eine Anzahl feiner Linien mit einer Perraux'schen Theilmaschine eingerissen und mit einer isolirenden Substanz (Hartgummi) angefüllt. Diese Linien entsprechen in ihrer Lage möglichst genau den Fäden des Fadennetzes. Gleitet nun eine der Kontaktschrauben C bei ihrem Schleifen auf der Schiene B über eine solche feine Linie, so wird der Strom momentan unterbrochen. Da nun das Passiren einer solchen Linie mit dem Moment zusammenfällt, wenn der künstliche Stern hinter einem Faden des Fadennetzes steht, so ist klar, dass auf diese Weise jedesmal, wenn der künstliche Stern durch einen Faden geht, ein Strom geöffnet wird.[1])

Der von einem möglichst genau gehenden Uhrwerke in Bewegung gesetzte Trieb N_1, Fig. 959, greift in ein Rad M ein, welches zwei mit der Rückseite gegen einander liegende konische Zahnkränze trägt. Dieses Doppelzahnrad M ist in zwei Hälften zerschnitten, damit man es um das Zapfenende des Fernrohrs, um welches es in einer Falz laufend frei drehbar ist, legen kann; die Hälften sind, nachdem das Rad an seinen Platz gebracht war, durch Schrauben fest verbunden. In den zweiten Zahnkranz des Rades M greift der Trieb N_2, durch den die Stange Q in Rotation versetzt wird, welche am Zapfen- und Okularende in den Lagern L_1 und L_2 frei drehbar ist. An ihrem dem Okular zugewandten Ende trägt die Stange Q das Zahnrad R_2, welches in ein gleich grosses Rad R_1 eingreift. Durch dieses letzere wird eine kleine Axe, welche ihre Stützpunkte in den Lagern L_2 und L_3, Fig. 958, hat und die an ihrem freien Ende den Trieb T trägt, in Rotation versetzt. In denselben greifen abwechselnd zwei mit den Zahnreihen gegen einander gekehrte Zahnstangen z_1 und z_2 ein, welche fest mit einander verbunden und an den Okularschlitten mittelst einer Schraube und um diese drehbar angebracht sind. In die Stange z_1 ist seitlich ein Stift eingeschraubt, welcher durch den

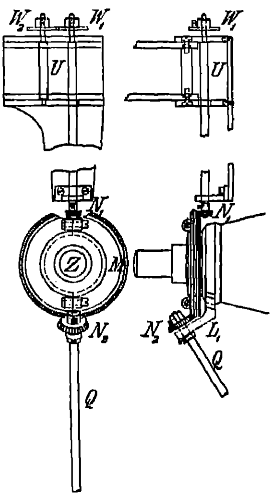


Fig. 959.

[1]) Für die Praxis ist übrigens zu bemerken, dass es nicht möglich ist, bei langsamster Bewegung des Sternes eine momentane Stromunterbrechung hervorzurufen, denn die Kautschuklinien sind selbst bei grösster Sorgfalt nicht alle ganz gleich breit zu erhalten und man wird die Kontaktspitze nur genähert so breit machen dürfen wie den schmalsten der Striche. Beim Ablesen der Chronographenstreifen wurde das Mittel aus dem Beginn und dem Ende der Unterbrechung als zu verwendendes Moment genommen. Hierbei ist es also absolut nothwendig, einen Schreib- und nicht einen Nadelchronographen zu benutzen, denn der Nadelapparat würde immer nur den Beginn der Stromunterbrechung markiren, aber niemals das Ende derselben; man würde also beim Ablesen entschieden falsche Werthe erhalten. Bei derartigen Beobachtungen ist es nicht unwesentlich, dass man die automatischen und die Beobachtungs-Signale durch ein und dieselbe Feder aufschreiben lässt, weil man erstlich dadurch die beobachteten Differenzen direkt in Bruchtheilen der Sekunde ablesen kann und zweitens von dem Spitzenfehler der Chronographenfedern unabhängig wird. Zu diesem Zwecke lässt man die Koincidenz des Sternes mit dem Faden nicht genau mit dem Kontakt zusammen fallen. Eine solche Differenz wird durch die Umwechselung der Bewegungsrichtung des künstlichen Sterns wieder eliminirt.

halbkreisförmig und excentrisch angebrachten Einschnitt E der Scheibe S geführt wird, sodass er, wenn man die Scheibe S mittelst des Knopfes H hin- und herdreht, auf- und abwärts bewegt wird, wodurch man bewirkt, dass bald die untere, bald die obere Zahnstange in den Trieb eingreift, und somit durch die Rotation des letzteren der Okularschlitten bald in der einen, bald in der anderen Richtung bewegt wird. Die Scheibe S mit dem Knopfe H ist an einem Ansatze des Okularschlittens befestigt. Die Zahnstangen z_1 und z_2 sind so angebracht, dass, wenn die eine über den Trieb T hinweggeglitten ist, dieser sich frei weiter drehen kann, bis man die andere Zahnstange zum Eingreifen bringt. Durch das Hin- und Hergleiten des Okulars wird nun, wie oben schon gezeigt, die Bewegung des künstlichen Sternes und die automatische Registrirung der Fädenantritte bewirkt.

Die Bewegung des Uhrwerks kann mit verschiedener Geschwindigkeit auf das Triebwerk übertragen werden, was folgendermassen erreicht wird. In dem Ansatze U befindet sich ein Zahnrad (in der Figur nicht angegeben), welches direkt in ein Rad des Uhrwerks eingreift, während seine Axe auf der vom Zapfenende des Fernrohrs abgewandten Seite von U herausragt. Auf derselben Seite steht die Axe des Triebes N_1, nachdem sie durch U frei hindurchgegangen ist, über dasselbe hervor. Auf diese beiden senkrecht unter einander liegenden Axenenden können in einander eingreifende Zahnräder W_1 und W_2 aufgesetzt werden, durch welche die Rotation der einen Axe auf die andere übertragen wird. Da man diese Räder mit verschiedenen Durchmessern und Zahnzahlen versehen kann, so lassen sich auch unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeiten des Triebes N_1 bei derselben Geschwindigkeit des Uhrwerks erreichen.

C. Theilungsfehler und Bestimmung eines Fundamentalpunktes auf der Kreistheilung, Biegung des Fernrohrs und die Fehler des Fadennetzes.

Bezüglich der Untersuchung der Theilungsfehler kann hier füglich auf die oben gegebenen ausführlichen Auseinandersetzungen verwiesen werden. Es mag nur nochmals daran erinnert werden, dass es unter Umständen einer sorgfältigen Überlegung bedarf, um die gefundenen Theilungsfehler an die Beobachtungsdaten mit dem richtigen Vorzeichen anzubringen.

Auch bezüglich der Bestimmung des Nadir- und Horizontalpunktes der Kreistheilung ist oben schon bei Gelegenheit der Besprechung der dazu erforderlichen Instrumente, wie Quecksilberhorizont und Kollimatoren das Nöthige beigebracht worden. Die Anordnung der betreffenden Hülfsinstrumente mit Bezug auf das Hauptinstrument (Meridiankreis) ist aus mehreren der vorstehenden Figuren deutlich zu ersehen.

Es mag nur darauf hingewiesen werden, dass Beobachtungen, die auf die erwähnten Fundamentalpunkte Rücksicht nehmen, also wirklich als absolute Beobachtungen gelten können, unter den heutigen Verhältnissen nur mit wirklich erstklassigen Instrumenten angestellt werden sollten, da im anderen Falle die aufgewandte Mühe und Sorgfalt, welche solche Messungen erfordern, nicht im Verhältniss zur erlangten Genauigkeit stehen dürfte.

In direkter Beziehung zur Bestimmung der Fundamentalpunkte des Kreises steht die Frage nach der Wirkung einer Biegung des Fernrohres: Es ist klar, dass eine solche im Allgemeinen bei horizontaler Stellung ein Maximum ihrer Wirkung und bei vertikaler Stellung ein Minimum erreichen wird. Es können jedoch auch Umstände eintreten — Eigenthümlichkeiten des Baues oder des Materials des Instrumentes — welche bewirken, dass im Zenith oder Nadir die Biegung nicht gleich Null und im Horizont nicht im absoluten Maximum ist.[1]) Man hat eine Reihe sinnreicher Methoden angegeben, welche namentlich den Zweck haben, die Biegungswirkung für beliebige Zenithdistanzen zu bestimmen, dahin gehören die Vorschläge von Loewy in Paris,[2]) von Nobile,[3]) auch von Schaeberle[4]) und neuerdings die Untersuchungen von Bauschinger,[5]) welch letzterer auch Vorkehrungen angegeben hat, um die nicht von der Schwere-Wirkung allein herrührenden Formänderungen des Fernrohrs möglichst zu vermeiden (siehe Münchener Meridiankreis). Es würde an dieser Stelle aber viel zu weit führen, des Näheren auf die speciellen Einrichtungen einzugehen. Ebenso kann hier auch nur nebenbei auf die Formveränderungen der Kreise durch äussere Einflüsse, besonders durch ungleiche Erwärmung hingewiesen werden, zumal die neuere Anordnung der Lager und Pfeiler der Meridiankreise diesen Fehlerquellen besonders Rechnung trägt. Eine eingehendere Besprechung dieser Frage findet sich in einer diesbezüglichen Arbeit von Leitzmann,[6]) welche besonders über Versuche am Hamburger Meridiankreis berichtet.

Neben der Biegung des Fernrohres kann auch die Sicherheit der unveränderlichen Lage der Absehenslinie zu den übrigen Theilen des Instruments durch Veränderungen des Fadensystems gestört werden. Es ist deshalb erforderlich, auch die Lage desselben zur Horizontalaxe resp. zum Meridian stets unter Kontrole zu halten. Es können erstens die Vertikalfäden nicht vertikal, und zweitens die Horizontalfäden nicht horizontal, ja nicht einmal geradlinig sein. Bezüglich des letzteren Punktes mag hier nur bemerkt werden, dass gut aufgezogene Fadennetze eine merkbare Durchbiegung der Horizontalfäden nicht zu zeigen pflegen. Mehrfache diesbezügliche Untersuchungen haben wenigstens zu keinen sicheren Resultaten für eine Kettenlinienform der Fäden geführt. Da, wie oben bemerkt, es immer wünschenswerth ist, die Vertikalfäden wirklich vertikal zu stellen, so bleibt nur die Untersuchung des Neigungswinkels der Horizontalfäden noch nöthig. So einfach der Forderung für die Vertikalfäden genügt werden kann, so umständlich gestaltete sich meist die Bestimmung der Neigung der Horizontalfäden.

In den bei weiten meisten Fällen wurden zur Bestimmung dieses Winkels Einstellungen von Sternen in höheren Deklinationen an verschiedenen

[1]) Dahin würden z. B. die in Greenwich gemachten Erfahrungen gehören.

[2]) Ann. de l'Observat. de Paris, Bd. XVI.

[3]) Astron. Nachr., Bd. 96, S. 9.

[4]) Astron. Nachr., Bd. 118, S. 147.

[5]) Münchener Ann., Neue Folge, Bd. II.

[6]) H. Leitzmann, Von dem Einfluss der Wärmestrahlung auf die Theilung eines Meridiankreises u. s. w., Magdeburg 1885.

Stellen der Horizontalfäden ausgeführt und aus den Verschiedenheiten der Kreisablesungen auf den Neigungswinkel geschlossen. Abgesehen von der zeitraubenden und mühevollen Ausführung dieser Messungen gingen in diese Bestimmungen auch eine Reihe von Faktoren ein, welche sehr leicht eine Trübung des Resultates veranlassen konnten (Mikroskope, Theilungsfehler u. s. w.).[1] Es war daher wünschenswerth, ein anderes, schneller zum Ziele führendes, Verfahren anzugeben. Es gelingt eine solche Bestimmung leicht mit Benutzung einer dünnen Platte, welche im Fokus eines Kollimatorfernrohres angebracht wird und welche 4 feine Löcher enthält, die nahezu die Ecken eines Quadrates darstellen und deren Entfernung unter einander so gewählt ist, dass das Bild der Diagonale etwa die Entfernung der äussersten Vertikalfäden etwas an Länge übertrifft.

Stellt in Fig. 960 A diese Platte (Staniol) dar mit den 4 Löchern 1, 2, 3 und 4, so kann man durch einfache Vorrichtungen am Kollimator es leicht dahin bringen, dass die Punkte 2 und 4 mit einem Horizontalfaden zusammenfallen; wird dann mittelst des beweglichen Vertikalfadens die horizontale Entfernung der Punkte 1 und 3 gemessen und darauf die Platte um eine nahezu vertikale Axe um 180° gedreht, sodann die Koincidenz zwischen den Punkten 2 und 4 und dem Horizontalfaden wiederhergestellt, so wird man nach abermaliger Messung der Distanz 1 — 3 in horizontalem Sinne mit Zuhilfenahme der wirklichen, scheinbaren Entfernung zwischen den Punkten 1 und 3 die Neigung des Horizontalfadens gegen den Horizont leicht aus folgender Beziehung finden können. Ist die horizontale Projektion der Distanz 1 — 3 gleich a gemessen worden in der ersten Lage der Platte und gleich b in der zweiten Lage, und ist ausserdem die Länge der Diagonale 1 — 3 gleich $\triangle$, so hat man einmal $\sin \alpha = \frac{a}{\triangle}$ und zweitens $\sin \alpha' = \frac{b}{\triangle}$, wo α und α' die Winkel sind, welche die Richtung 1—3 in der einen und in der andern Lage mit der Vertikalen einschliesst. Die Neigung der Horizontalfäden ist dann sofort $p = \frac{\alpha + \alpha'}{2}$, wobei nur auf das Vorzeichen der Werthe von α zu achten ist. (Die vertikalen Fäden als berichtigt vorausgesetzt.)

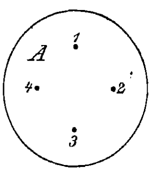


Fig. 960.

Wenn auch diese Methode an Einfachheit kaum etwas zu wünschen übrig lässt, so ist doch das Umsetzen der Platte mit den Löchern für die künstlichen Sterne noch zu umgehen, wenn man ein für allemal die Dimensionen des durch die 4 Sternchen gebildeten Vierecks genau ausmisst und namentlich den Winkel, welchen die Diagonalen einschliessen, genau bestimmt (mit dem Mikrometerapparat des Durchgangsinstruments sind alle diese

[1]) Bessel hat noch ein anderes Verfahren vorgeschlagen, welches von Mikroskopen u. s. w. unabhängig ist, und welches auch mehrfach angewendet wurde. Dasselbe beruht auf der Beobachtung der Antritte eines Gestirnes von hoher Deklination an den Horizontalfaden vor und nach der Kulminationszeit und setzt die Verschiedenheit der Stundenwinkel der Antrittspunkte zur Neigung des Fadens in Beziehung.

Messungen leicht ausführbar). Es ist nämlich, wenn in Fig. 961 die beiden Lagen der Platte dargestellt sind

für Lage I	$\gamma = \alpha + 90^0 + p$	$p = \gamma - \alpha - 90^0$
für Lage II	$\gamma = \alpha' + 90^0 - p$	$p = -\gamma + \alpha' + 90^0$

also

$$\gamma = 90^0 + \frac{\alpha + \alpha'}{2} \text{ und } p = \frac{\alpha' - \alpha}{2}.$$

Hat man dann also die Punkte 2 und 4 mit dem Horizontalfaden zur Deckung gebracht, so braucht man nur den Winkel zu bestimmen, den nunmehr die Linie 1—3 mit der Vertikalen macht, diesen um 90^0 zu vermehren und sodann den Werth von γ davon in Abzug zu bringen, um ohne weiteres die Neigung des Horizontalfadens zu haben. Dabei ist nur vorausgesetzt, dass sich die Dimensionen der Platte resp. die gegenseitige Lage der künstlichen Sterne nicht ändern. Bei Vorhandensein eines beweglichen Horizontalfadens gestaltet sich das Verfahren noch einfacher, da dann die Koincidenz von Punkt 2 und 4 mit dem Horizontalfaden nicht hergestellt zu werden braucht, sondern die Differenz e der Abstände mit Hülfe der Mikrometerschraube ermittelt und nach Kenntniss der Distanz (2—4) $= \triangle'$ der Winkel α_h aus der Gleichung $\sin \alpha_h = \frac{e}{\triangle'}$, gefunden und in Rechnung gebracht werden kann[1]).

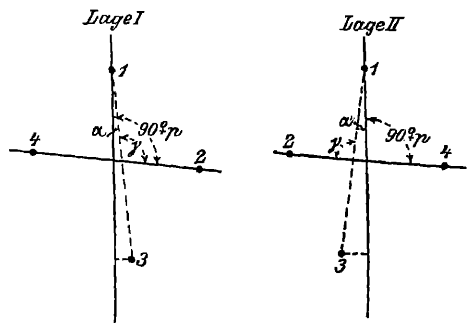


Fig. 961.

Ein kurzes Beispiel mag das Princip der Methode erläutern:

Es sei $a = +1{,}708$ Rev. $= 77{,}80''$ in Lage I, $b = -1{,}294$ „ $= -58{,}96''$ in Lage II; $1\,R = 45''.55$, $\triangle = 1300''$

und damit $\alpha = 3^0\,25'\,57''$; $\alpha' = -2^0\,35'\,58''$

also

$$p = \frac{\alpha + \alpha'}{2} = +25',0$$

und

$$\gamma = 90^0 + \frac{\alpha + \alpha'}{2} = 93^0\,0'\,58''.$$

Durch vorstehende Erläuterungen dürften die wesentlichsten Punkte, welche bei der Reduktion von Beobachtungen an Durchgangsinstrumenten und Meridiankreisen von Wichtigkeit sind, Erwähnung gefunden haben, namentlich soweit sie für die Behandlung und Aufstellung solcher Instrumente von Bedeutung sind.

[1]) Bezügl. ausführlicherer Daten über diese Methode zur Bestimmung der Neigung der Horizontalfäden ist zu verweisen auf einige Abhandlungen im Bulletin Astronomique von Hamy, namentlich aber auf diejenige in Bd. 7, S. 5. — Zschr. f. Instrkde. 1891, S. 77 ff. und Astron. Nachr., Bd. 144, S. 87. — In letzterem Aufsatze ist von Dr. Grossmann noch eine nicht unerhebliche Vereinfachung dieser Methode angegeben.

Achtzehntes Kapitel.

Chronographen.

In dem letzten Abschnitt des vorigen Kapitels ist schon mehrfach von Instrumenten die Rede gewesen, welche unter dem Namen Registrirapparate oder Chronographen bekannt sind. Dieselben dienen dazu, mit Hülfe des elektrischen Stromes zunächst die Sekunden einer Uhr in sichtbarer Weise auf eine Papierfläche in äquidistanten Intervallen zu übertragen (ganz ähnlich wie das z. B. bei einem Morse-Apparat mit den telegraphischen Zeichen geschieht) und sodann mittelst eines zweiten Hebelsystems auch die Beobachtungsmomente auf derselben Fläche sichtbar zu machen, sodass sie zu den Sekundenmarken leicht in Beziehung gesetzt werden können.

Nachdem im Jahre 1848 die elektrischen Registrirapparate[1]) von S. Walker und W. Bond in die astronomische Beobachtungskunst eingeführt worden waren, gingen allmählich viele Beobachter von der bis dahin allein gebräuchlichen sogenannten Auge-Ohr Methode zu der Registrirmethode (Auge-Hand) über. Es wurde dadurch vielleicht keine erheblichere Genauigkeit der Einzelbeobachtung erzielt, wohl aber wurde es möglich, namentlich bei Durchgangsbeobachtungen und solchen ähnlicher Art, eine bedeutende Vermehrung der Einzeldaten (z. B. der Fadenantritte durch geringere Abstände der Fäden) zu erlangen und die Aufmerksamkeit des Beobachters dem sichtbaren Phänomen besser zu wahren.

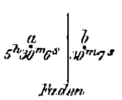


Fig. 962.

Bei den Durchgangsbeobachtungen nach Auge und Ohr wird ziemlich allgemein die Auffassung des Antrittsmomentes dadurch mit den Schlägen der

---

[1]) Schon im Jahre 1828 hat J. G. Repsold den Versuch gemacht, einen Registrirapparat für Durchgangsbeobachtungen zu bauen. Nach seiner Idee sollte ein Papierstreifen 1, Fig. 963 (das Original befindet sich im Besitze der Hamburger Sternwarte; die danach angefertigte Photographie ist mir von den Herren Repsold Söhne gütigst zur Verfügung gestellt worden), vermittelst eines Uhrwerkes sehr gleichförmig fortbewegt werden. Beim Durchgange eines Sternes durch die einzelnen Fäden sollte der Beobachter auf einen Taster drücken, wodurch die Spitze 3 zwischen den Rollen 4 und 5 einen Punkt auf dem Streifen giebt. Kurz vor und sofort nach dem Durchgange durch alle Fäden sollte bei einem Sekundenschlage der Uhr auf gleiche Weise ein Zeichen auf den Streifen gemacht werden. Durch Einmessen in dieses fixirte Intervall sollten die genauen Antrittszeiten für die einzelnen Fäden bestimmt werden. Leider ist diese Idee nicht über das Versuchsstadium hinausgekommen, sonst würde die kaum zu erfüllende Forderung der sehr gleichmässigen Bewegung des Streifens während längerer Zeit durch geeignete Regulirvorrichtungen am Uhrwerk, welches in dem hier dargestellten Versuchsapparat nur einen einfachen Windflügel 6 besitzt, wohl auf die eine oder andere Weise noch behoben worden sein. Der Tod J. G. Repsold's scheint aber die weitere Ausbildung des Instruments verhindert zu haben.

Uhr in Beziehung gesetzt, dass schon das Auge des Beobachters die eigentliche Zeitschätzung in eine Längenschätzung umwandelt. Derselbe merkt sich den Ort des Gestirnes in Bezug auf einen Faden, an welchen dasselbe im Laufe der Sekunde antreten wird, zur Zeit des zunächst vorhergehenden Sekundenschlages sowohl als auch zur Zeit des nächst folgenden und theilt sodann die so begrenzte Strecke (welche also der Stern während der Sekunde zurückgelegt hat) in Zehntel oder Hundertstel; diese Strecke durchschneidet der Faden dann an einer bestimmten Stelle, so dass also, wenn der Stern sich während der in Frage kommenden Sekunde von a nach b, Fig. 962, bewegt hat, der Faden dieses Intervall etwa bei $a + \frac{7(b-a)}{10}$ durchschneidet, wonach also der Antritt an den Faden zur Zeit $a + \frac{7}{10}(b-a)$ Sekunden erfolgt ist. Wenn also $b - a = 1^s$ ist und $a = 5^h\,30^m\,6^s$ war, so ist der Antritt an den Faden $5^h\,30^m\,6^s{,}70$ erfolgt.

Bei der Registrirmethode wird die erwähnte Längenschätzung nun nicht während der Beobachtung vorgenommen, sondern der Moment des Fadenantritts oder der einer anderen Erscheinung wird auf die Papierfläche übertragen und dann auf dieser die betreffende Marke zwischen die nächstliegenden Sekundenzeichen eingemessen oder geschätzt, wie es später noch näher erläutert wird.

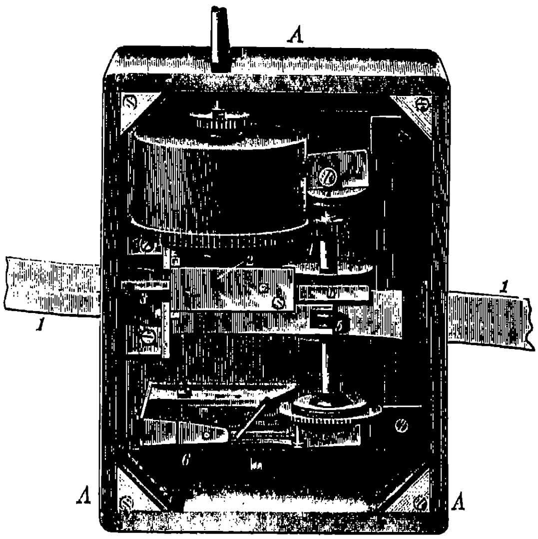


Fig. 963.

Die Einrichtung der Chronographen kann nach mehreren Richtungen hin verschieden sein. Einmal lassen sich dieselben je nach der Form der die Zeichen aufnehmenden Papierfläche in Walzen- und Streifenapparate[1]) eintheilen, sodann könnte man die Art des Regulators des Laufwerkes einer Eintheilung zu Grunde legen. Ich werde mich hier an das erste Eintheilungsprincip halten, welches auch in gewisser Hinsicht dem Unterschied zwischen den Farbschreibern und den Punktschreibern Rechnung trägt.

1. Walzen-Chronographen.

Die Chronographen mit walzenförmiger Aufnahmefläche dürften wohl früher als die Streifenapparate zu genügender Ausbildung gelangt sein;[2]) sie sind

---

[1]) Streng genommen bilden die Scheibenapparate eigentlich ein Zwischenglied.

[2]) Der Chronograph von Walker und Bond (1848) war ein Walzenapparat, der des Prof. Locke ein Streifenapparat (1849), während Mitchel, wie wir gleich sehen werden, eine Scheibe als Registrirfläche benutzte (1849).

heute noch in Amerika und England in Benutzung, wo überhaupt die Registrirmethode früher als in Deutschland Anwendung fand.

Die ersten amerikanischen Apparate, von denen sich der von Walker und Bond selbst benutzte im I. Bande der Annalen des Harvard College S. LII ff. beschrieben und abgebildet findet, hatten nur einen einzigen Schreibhebel, wie die Fig. 964 und 965 erkennen lassen (es waren Farbschreiber), der sowohl die Sekundenmarken, als auch die Zeichen, welche der Beobachter gab, in Gestalt von Ausbuchtungen einer einzigen dem Cylinder umschriebenen Spirallinie dem Auge sichtbar machte. Das Uhrwerk war hier schon so eingerichtet, dass sich die Walze in einer Minute einmal herumdrehte und daher die Sekundenzeichen nach Abnahme des Papierblattes alle in einer geraden Linie untereinander lagen. Dadurch wurde der Übelstand, dass wohl einmal ein Beobachtungssignal ein Sekundenzeichen verdecken konnte, ziemlich unschädlich gemacht. Es kann aber trotzdem die Einrichtung mehrerer

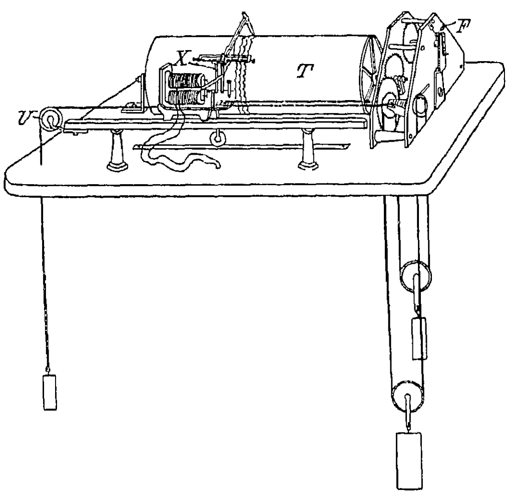


Fig. 964.

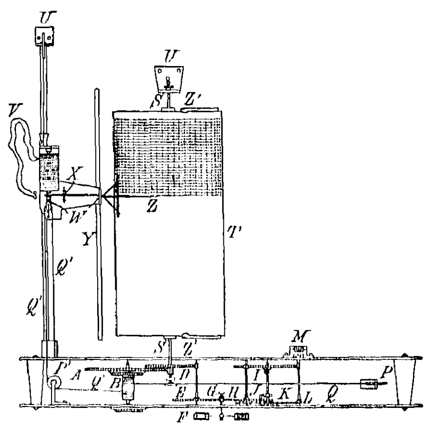


Fig. 965.

(Nach Annals of the Harvard Coll., Bd. I.)

Schreibhebel als wesentliche Verbesserung angesehen werden. Ein nicht nur in dieser Beziehung verbesserter Apparat von grösseren Dimensionen wurde von Dent 1854 für Greenwich gebaut. Die Fig. 966, 967, 968 u. 969 stellen die Gesammtanordnung des Chronographen und einige Details der Registrirvorrichtung dar. In Cardan'scher Federaufhängung bei f bewegt sich das mit Quecksilber kompensirte Pendel g. Die Spitze desselben beschreibt einen Kreis (es ist ein sogenanntes konisches Pendel) und greift regulirend in eine Gabel h ein, welche senkrecht zu einer vertikalen Welle Z des starken Triebwerks steht. Diese letztere Welle steht durch eine Uebertragung konischer Räder mit den übrigen Theilen des Triebwerkes in Verbindung und ertheilt so auch zugleich dem Pendel den Impuls. Andererseits ist mit einer der gewöhnlichen Räderwellen die Axe der über $^1/_2$ m langen Walze E in Verbindung und zwar derart, dass sie sich in zwei Minuten einmal herumdreht. Da dieselbe einen Halbmesser von 15 cm hat, so bewegt sich ein Punkt ihrer cylindrischen Oberfläche in

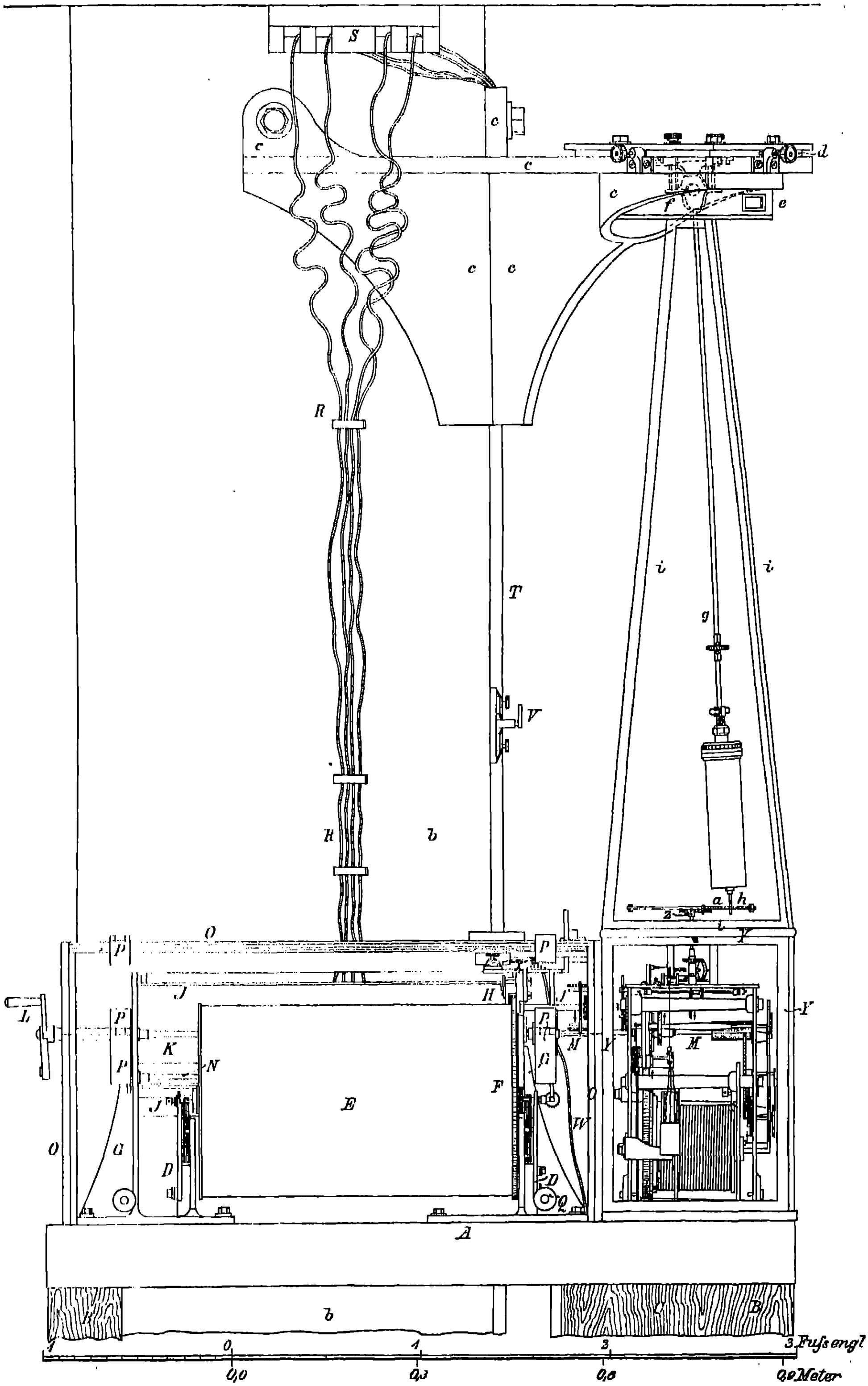


Fig. 966.
(Nach Greenwich Observ. 1856.

einer Sekunde um etwa $^3/_4$ cm. Die Walze ist mit festem Tuch umgeben, und über dieses ist ein Blatt Papier straff aufgespannt.[1])

Neben der Walze laufen parallel mit ihrer Axe zwei lange Schrauben K und N, welche durch eine geeignete Radübertragung ganz gleichmässig bewegt werden. Diese Schrauben führen eine Art Wagen 24, Fig. 967—969, zwischen

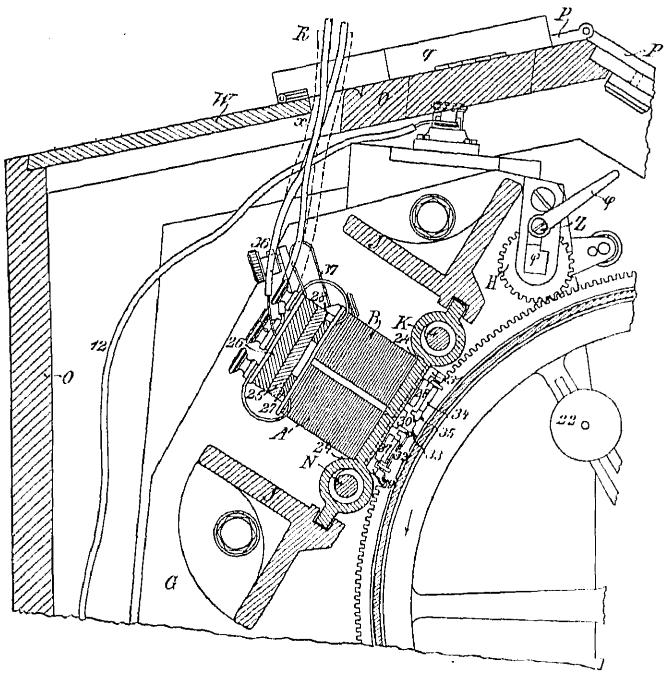


Fig. 967.

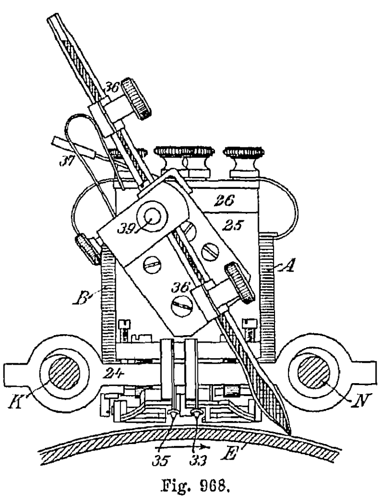


Fig. 968.

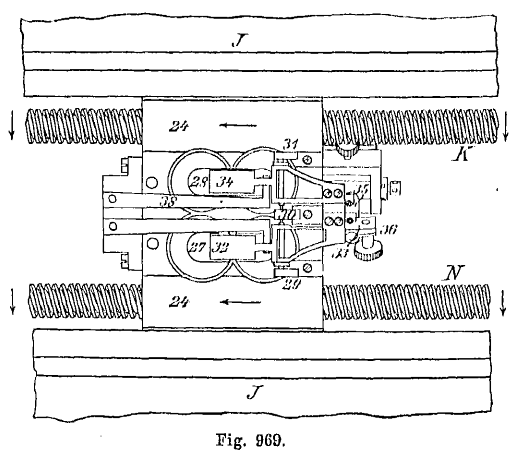


Fig. 969.

[1]) Die sich etwas überdeckenden Kanten des Blattes sind zusammengeklebt; nach Lösung der Klebmasse kann das Blatt abgenommen und ein neues aufgespannt werden. Dieses Aufspannen der Blätter ist übrigens eine erhebliche Unbequemlichkeit aller Walzenapparate.

zwei festen Führungen J, J hin und her, welcher die eigentliche Registrirvorrichtung trägt. Dieselbe besteht aus zwei U-förmigen Elektromagneten A und B, welche in ähnlicher Weise, wie es bei den gewöhnlichen Morse-Schreibapparaten geschieht, zwei Anker 32 u. 34 anziehen, wenn ein galvanischer Strom durch die Umwicklungen geht. Mit den zwischen Spitzen sehr leicht drehbaren Ankern in Verbindung steht je ein kleiner Stift 33 u. 35, der mit einem Gewicht 29 u. 31 beschwert in das Papier einen Punkt macht, sobald der Anker angezogen wird. Der eine dieser Anker steht mit der die Sekundensignale gebenden Uhr (vergl. die Kontakteinrichtungen an Uhren, S. 266 ff.) in galvanischer Verbindung, während der Anker des anderen Elektromagneten durch Schliessen eines zweiten Stromes durch den Beobachter in Thätigkeit gesetzt werden kann. Ausser den Punkten, welche die beiden Spitzen 33 u. 35 auf dem Papier hervorbringen, ist mit dem Wagen 24 noch eine Glasfeder bei 39 verbunden, welche neben den entstehenden Punktreihen eine farbige Linie zieht, um dadurch die Orientirung zu erleichtern. Die Schrauben N und K sowohl als auch die Walze E können unabhängig vom Uhrwerk bewegt werden; ersteres ist nöthig, um den Wagen wieder zurückführen zu können und sodann um den Beginn und das Ende einer Beobachtungsreihe durch eine kleine Verschiebung des Wagens zu markiren, was durch Drehung an der Kurbel L_1 geschieht, und letzteres ist zum bequemen Aufziehen eines neuen Papierblattes von Nutzen. Während ich bezüglich weiterer Details auf das Original und die zum Theil hier reproducirten Figuren verweisen muss, will ich nur noch erwähnen, dass im Jahre 1860 die bis dahin auf eigenthümliche Weise erlangte Regulirung des Ganges des Triebwerkes[1]) durch einen centrifugalen Regulator ersetzt wurde, durch welchen bei grösserem Ausschlag des Pendels eine sich drehende Platte tiefer in ein Gefäss mit Wasser eingedrückt wird, wodurch die Reibung zwischen Platte und Wasser vergrössert und so der Widerstand im Triebwerk vermehrt wird, ohne direkt auf das Pendel einzuwirken.

Einen ähnlichen Apparat hat 1858 der Mechaniker Krille für die Altonaer Sternwarte gebaut. Derselbe ist in den Fig. 970—72 dargestellt. C. A. F. Peters beschreibt denselben etwa wie folgt:[2]) Walze und Triebwerk sind dem Greenwicher Apparate ähnlich gebaut, sie ruhen auf einer starken Mahagoniplatte und diese ist auf zwei in einer Mauer befestigte Träger gelagert. Die aus Messing gefertigte und sehr sorgfältig abgedrehte Walze E F hat eine Länge von etwas über 0,4 m und einen Durchmesser von nahe 15 cm. Diese Walze wurde mit Kreidepapier überspannt, welches mit Tusche geschwärzt

[1]) Die ursprüngliche Regulirung wurde in sehr sinnreicher, aber komplicirter Weise durch die Reibung eines Stiftes auf einer Scheibe erzielt, dessen veränderliche Belastung durch ein Gewichtchen hervorgebracht wurde, welches seinerseits mittelst eines Hebelwerkes mit veränderlichem Angriffspunkt auf den Stift wirkte. Die Variation des Angriffspunktes aber wurde durch zwei in Wasser eingetauchte Gewichte hervorgebracht, die durch eine Schnur unter sich und mit einem Kreisbogen verbunden, dessen Stellung zur Axe der oben erwähnten vertikalen Welle regelten, wodurch der Hebelarm für das belastende Gewichtchen variirt wurde.

[2]) Astron. Nachr., Bd. 49, S. 1 ff.

war. Die Enden der Axe der Walze sind auf etwa 3 cm gut abgedreht und ruhen in den Lagern J und K. An dem Zapfen F ist das gezahnte Rad L befestigt, dessen Zähne genau in diejenigen des Rades M passen. Die Feder N O, Fig. 971, presst beide Räder in einander, wodurch die Walze vom Triebwerk mitgenommen wird, sehr leicht aber auch von demselben unabhängig gemacht werden kann. Die Gewichte P und Q sind an den Speichen der Walze verschiebbar (siehe Greenwicher Apparat) und dienen dazu, eine ganz gleichmässige Rotation der Walze durch Koincidenz ihres Schwerpunktes mit der Umdrehungsaxe herbeizuführen. Das viel kürzere Pendel U hängt an einem dünnen Draht, welcher an einer drehbaren Stahlkugel bei R befestigt

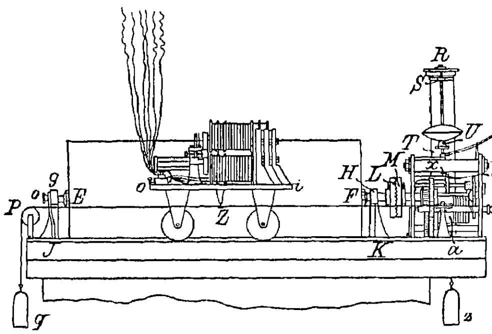


Fig. 970.

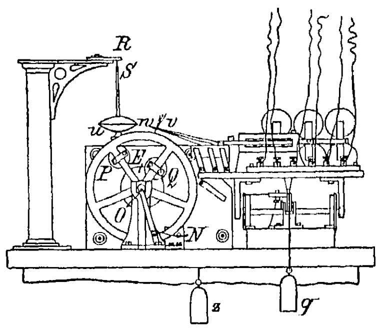


Fig. 971.

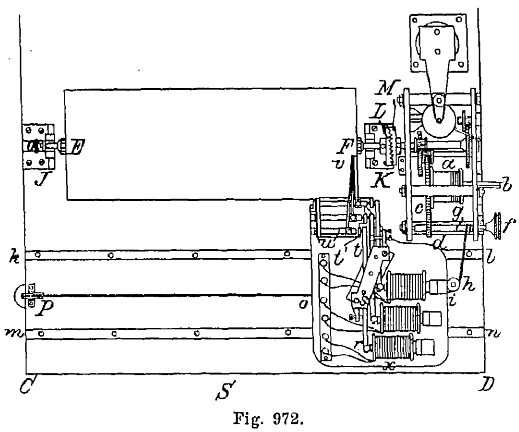


Fig. 972.
(Nach Astron. Nachr., Bd. 49.)

ist. Das Gewicht des Pendels ruht auf einer Schraubenmutter, welche längs der Pendelstange etwas verschoben werden kann; eine Kompensation ist nicht vorgesehen und auch völlig unnöthig. Die Walze dreht sich in 2 Minuten einmal herum, und das Uhrwerk läuft etwa sechs Stunden.

Das Rad c des Triebwerkes greift in das Rad d ein, welches auf der Welle g befestigt ist. Von dieser Welle wickelt sich alsdann die Darmsaite g h i ab, die bei h um eine Rolle geführt und bei Z an dem Wagen i o befestigt ist, der die Schreibstifte mit ihren Elektromagneten trägt. Der Wagen ruht auf vier Rädern, die sich auf den Eisenschienen k l und m n bewegen. Von Z aus ist die Darmsaite weitergeführt, sie geht an der Kante des Tisches bei p über eine Rolle und trägt unten das Gewicht q. Durch letzteres wird der Wagen i o in der Richtung von Osten nach Westen mit solcher Geschwindigkeit fortbewegt, als die Abwickelung der Saite g h i von der Welle g, die durch das Uhrwerk gedreht wird, es gestattet. Die Schreibstifte durchlaufen auf solche Weise und wenn die Bewegung des Wagens i o

nicht unterbrochen wird, die ganze Länge des Cylinders in etwa vier Stunden.

Mittelst des Knopfes f kann die Saite g h i wieder auf die Welle g gewunden werden. Auf dem Wagen sind drei Elektromagnete montirt, welche drei Zeichenstifte in Bewegung setzen, sodass ausser den Uhrsignalen noch von zwei Beobachtern gleichzeitig Beobachtungen registrirt werden können. Die Einrichtung der Schreibstifte ist aber erheblich abweichend von der früheren, da sie schon als „Farbschreiber" (es wurden damals Stifte mit Diamantspitzen benutzt) konstruirt sind und daher stets mit dem Papier in Berührung bleiben. Der messingne Arm r s t, Fig. 972b[1]), dreht sich bei s um eine vertikale Axe, er trägt bei r den Anker und bei t legt sich der-

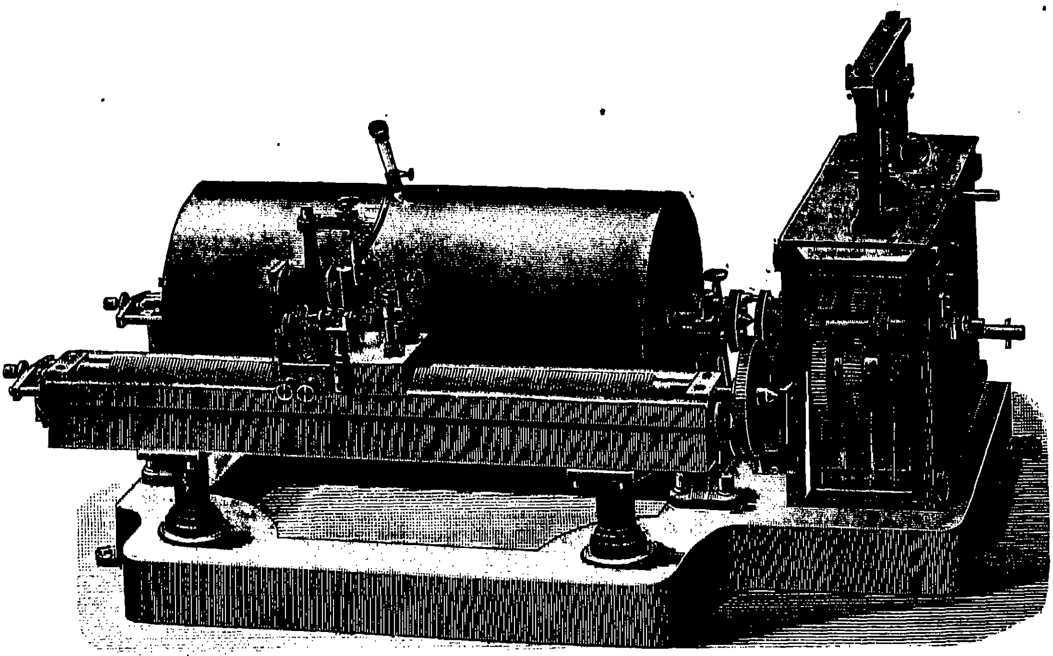


Fig. 973.

selbe gegen eine Welle u, auf welcher der Schreibstift korrigirbar befestigt ist. Wird der Anker angezogen, so drückt das Ende t die Welle u etwas nach links gegen eine Feder, der Stift macht an der Linie eine Ausbuchtung und wird durch die erwähnte Feder sofort nach der Stromunterbrechung in die Ruhelage zurück bewegt. Es ist keine Frage, dass dieser Apparat schon erheblich vollkommner und einfacher war als der grössere Greenwicher. Später sind von dem bekannten Chronometermacher Th. Knoblich noch einige ähnliche Apparate, z. B. ein solcher für die Hamburger Sternwarte angefertigt worden. In Deutschland werden jetzt ausser zu physiologischen Zwecken, grössere Walzen-Apparate z. B. von H. Heele in Berlin gebaut. Dieselben unterscheiden sich in der äusseren Ausführung,

[1]) Die drei Schreibhebel sind ganz gleich gebaut.

so namentlich in der Benutzung der Foucault'schen Regulatoren an Stelle der Pendel, von den bisher beschriebenen, wie die Fig. 973 zeigt, doch ist das Princip im Allgemeinen dasselbe geblieben, mögen nun nach dem Vorgange von Walker und Bond eine oder nach den späteren Einrichtungen mehrere Schreibstifte oder Federn verwendet werden.

In Frankreich hat Sécretan ausser den beiden Schreibstiften noch ein Schreibrädchen zur Orientirung eingefügt, welches die Feder am Greenwicher Apparat vertreten soll. Fig. 974 stellt einen solchen Chronographen dar, während die Fig. 975 einen Apparat zeigt, wie ihn gegenwärtig die Société genévoise etc. zu bauen pflegt.

Die Fig. 976 stellt einen ähnlichen Apparat desselben Instituts, von der Seite des Triebwerkes aus gesehen, dar, bei welchem aber die von Hipp

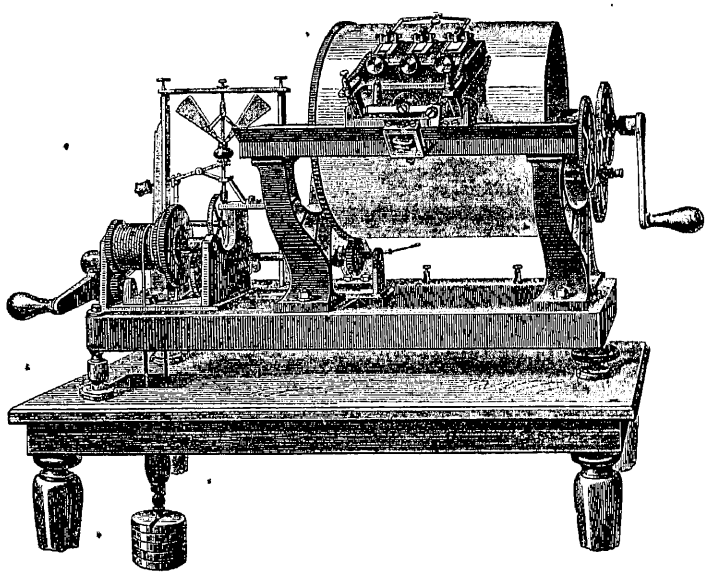


Fig. 974.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

eingeführte eigenthümliche Regulireinrichtung angebracht ist. Auch bei den Hipp'schen Streifen-Apparaten gelangt, wie wir später sehen werden, derselbe Regulator zur Anwendung. Neben der Walze a bewegt sich der die Elektromagnete tragende Wagen b in der gewöhnlichen Weise durch eine Schraube g auf zwei zur Cylinderaxe parallelen Schienen d d. Die Linien resp. Zeichen werden von zwei Heberfedern f erzeugt, deren eines Ende in eine feine Spitze ausgezogen ist, während das andere unverengte Ende in ein Gefäss i mit Farbe[1]) taucht. Durch einen einfachen Hebel

[1]) Diese Farbe wird aus einer Mischung von Eosin und Anilin oder Anilin allein mit gleichen Theilen Glycerin hergestellt, welche Mischung in Alkohol gelöst wird. Ist die richtige Zusammensetzung vorhanden, so wird die Farbe flüssig genug sein, um feine Striche zu liefern, während ein zu schnelles Eintrocknen durch das Glycerin verhindert wird.

können die Federn vom Papier abgehoben werden, sodass die Walze gedreht und der Wagen hin und her bewegt werden kann, ohne dass auf dem Papier Striche resp. Zeichen entstehen. Der Hipp'sche Regulator ist eine schwingende Federlamelle, welche in sinnreicher Weise der Bewegung des Uhrwerkes einen besonders regelmässigen und doch in weiteren Grenzen leicht zu verändernden Gang ertheilt. Auf der Axe des letzten Uhrrades ist ein Zahnrad k von besonderer Form befestigt. Die schwingende Stahllamelle l ist in ihren Dimensionen so bemessen, dass sie in einer Sekunde eine Anzahl Schwingungen ausführt, welche der Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades k entspricht; sie ist an ihrem einen Ende zwischen den Platten o und o′ befestigt; die untere dieser Platten o′ lässt sich mittelst der Schrauben p und R so auf der mit dem Gehäuse verbundenen Platte n bewegen, dass das freie Ende der Lamelle l den Zähnen des Rades k genähert und davon entfernt

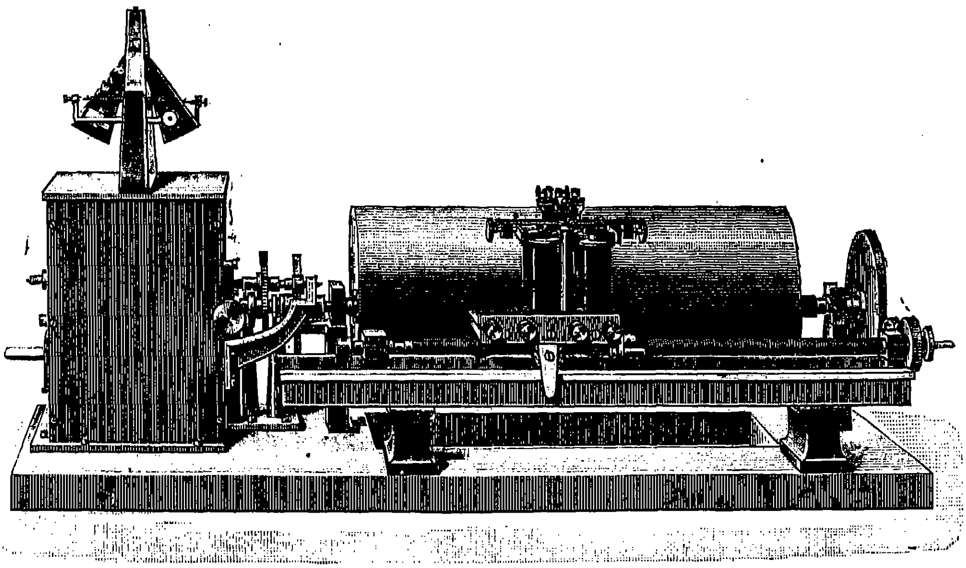


Fig. 975.

werden kann. Der Hebel h dreht sich um die Schraube z und ist am freien Ende mit dem verschiebbaren Gewichtchen t belastet, mit dem kleinen Kolben h ruht er an einer bestimmten Stelle auf der schwingenden Feder. Ist der Apparat ausser Gebrauche, so wird das Rad k von einem Hebel festgehalten, bei dessen Lösung wird nicht nur das Rad frei, sondern auch zugleich der Feder der nöthige Anstoss zu ihren Schwingungen ertheilt, die dann durch das Anschlagen der Zähne des Rades k an das freie Federende erhalten werden und dadurch diesen Zähnen immer nur in einer bestimmten Schwingungsphase der Feder den Durchgang gestatten.[1]) Durch die Veränderung der Berührungsstelle wird die Schwingungszahl der Feder und damit in einfacher Weise die

[1]) Die Figur sowohl wie die Beschreibung sind im Wesentlichen einem dem Verfasser gütigst zur Verfügung gestellten Werke des H. Favarger „L'Electricité et ses applications à la Chronometrie", Genf 1892, entnommen, welches eine reiche Fülle von Studien über diesen Gegenstand enthält.

Geschwindigkeit der Walze a oder bei Streifenapparaten die des Streifens in bestimmten Grenzen variirt. Der Gang dieser Apparate ist sehr regelmässig, ihre Behandlung erfordert aber eine etwas grössere Sorgfalt als dies bei dem Foucault'schen Regulator oder dem konischen Pendel der Fall ist.

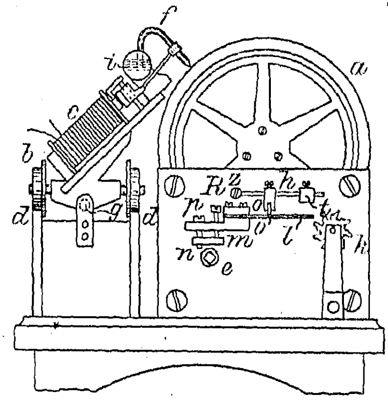


Fig. 976.

Man pflegt diese Chronographen jetzt häufig so einzurichten, dass man der Walze eine in weiteren Grenzen variable Geschwindigkeit geben kann; so kann sich z. B. bei einigen Apparaten dieselbe sowohl in einer Minute, als auch in zehn Sekunden und in einer Sekunde einmal herumdrehen.[1])

Die grossen Chronographen, welche Sir Howard Grubb für die Kap-Sternwarte und einige englische Observatorien in den letzten Jahren geliefert hat, sind ebenfalls grosse Walzen-Apparate mit Cylindern von über 80 cm Länge und einem Durchmesser von nahe 25 cm.

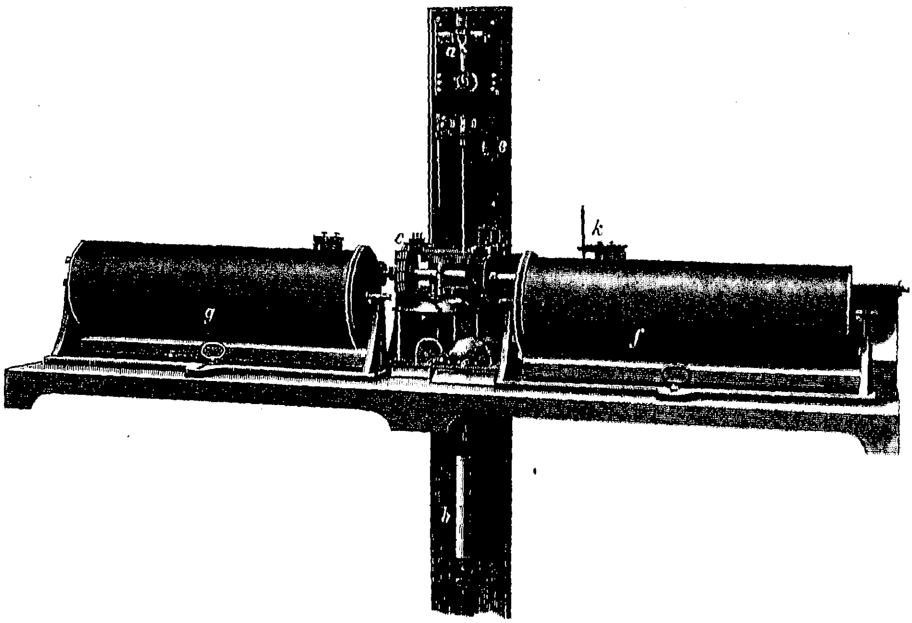


Fig. 977.

Sie nehmen bei einer Sekundenlänge von 10 mm fünf Stunden ununterbrochener Beobachtungen auf. Bei einigen derselben ist noch eine besondere Kontrole des Laufwerkes vorgesehen und es kommen dann Abweichungen von über $0^s,02$ in der mittleren Länge des Sekundenintervalls kaum noch

[1]) Die letzteren Bewegungen haben nur für physiologische Untersuchungen Bedeutung.

vor. Der neueste dieser grossen Grubb'schen Chronographen ist in Fig. 977 dargestellt,[1]) er ist in der Form eines Doppelapparates mit den beiden Walzen g u. f gebaut. Das Triebwerk hat zunächst einen Centrifugalregulator, welcher noch ergänzt wird durch das Pendel b, welches durch die Grubb'sche elektrische Kontrolvorrichtung, deren einzelne Theile bei a und c sichtbar sind, mit der Hauptuhr in Uebereinstimmung gehalten wird. Den Impuls erhält das Pendel durch den Elektromagneten. Bei k ist einer der Schreibstifte sichtbar.

Auch die amerikanischen Werkstätten bauen, wie schon erwähnt, fast ausschliesslich Walzen-Apparate, die sich aber auch durch keine Besonderheiten

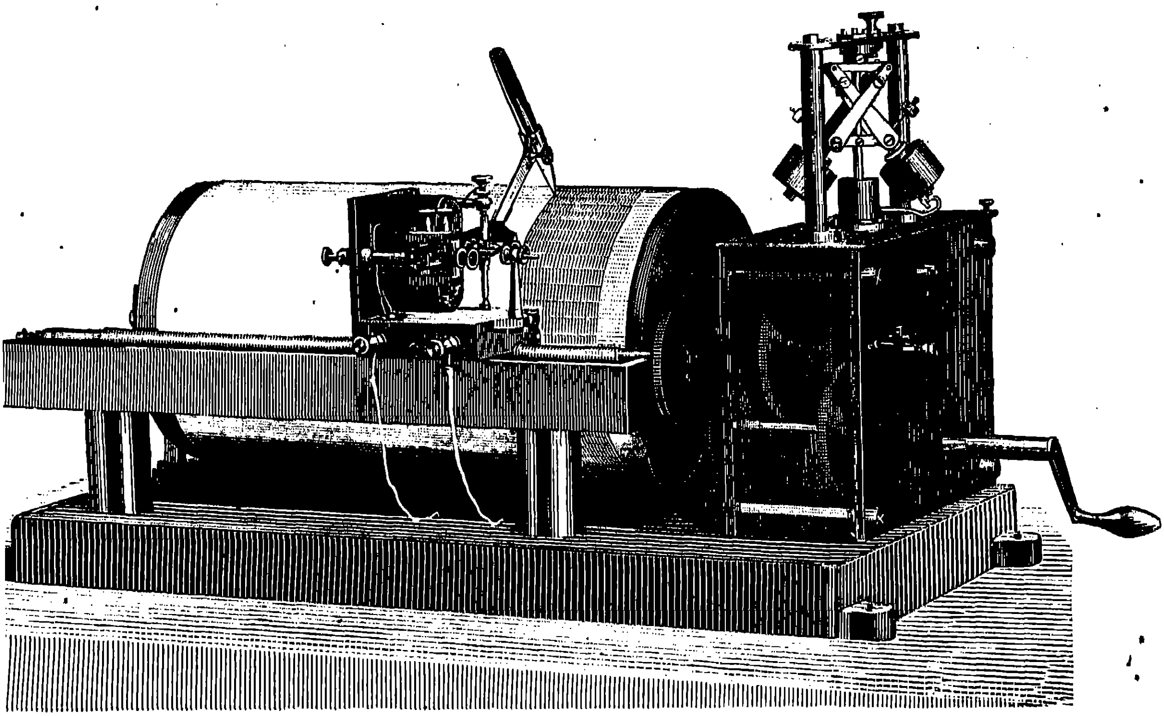


Fig. 978.

unterscheiden, nur ist man dort vielfach bei der Anwendung eines einzigen Schreibhebels stehen geblieben. Es bedingt das einen besonders sicheren und regelmässigen Gang der Walze, damit etwaige Signale, welche mit Sekundenzeichen zusammenfallen doch mit Sicherheit ausgewerthet werden können. Die Fig. 978 u. 979 stellen solche Chronographen von Saegmüller und von Warner & Swasey dar. Die Letzteren unterscheiden sich von den Saegmüller'schen nur durch die Anordnung des im Wesentlichen aber gleich gebauten Triebwerkes mit Windflügelregulator. Die Walze des in Fig. 979 abgebildeten Apparates ist 35 cm lang bei einem Durchmesser von etwa

[1]) Durch das freundliche Entgegenkommen Sir H. Grubb's wurde mir diese Darstellung noch vor der endgiltigen Fertigstellung zugänglich gemacht.

19 cm, sodass eine Sekunde genau 10 mm lang wird. Die Bewegung ist so regelmässig, dass die Sekundenmarken auf der Platte genau in einer geraden Linie liegen. Bei den gewählten Dimensionen kann die Ablesung der Signale mittelst einer einfachen Millimeterskala erfolgen.

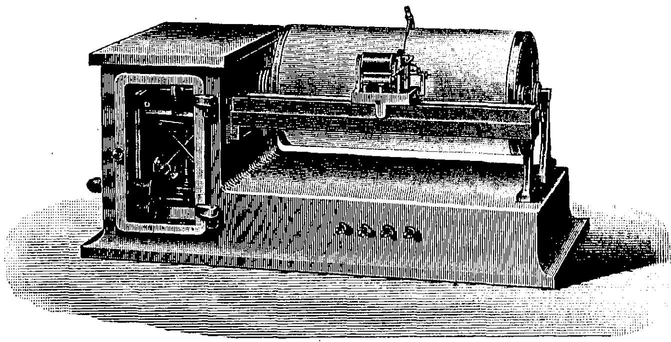


Fig. 979.

Bei den Triebwerken der neueren Chronographen, welche unter Umständen nur kürzere Zeit laufen, namentlich, wenn sie auf Federzug eingerichtet sind, ist es wesentlich, dass beim Aufziehen die Walze ihren regelmässigen Gang behält, deshalb muss stets ein Kontregesperr[1]) vorgesehen sein, oder man giebt der Zugkette eine besondere Anordnung. Der exakte Gang des Uhrwerkes wird bei einigen solchen Apparaten noch durch eine besondere Kontrolvorrichtung gesichert, wie sie z. B. bei den grossen Grubb'schen Chronographen vorgesehen ist.

2. Streifenapparate.

Schon Prof. Locke hatte an die Stelle der rotirenden Trommel mit aufgespanntem Papierblatt einen zwischen zwei Führungsrollen hindurchlaufenden Streifen gesetzt, wie er bei den gewöhnlichen Telegraphenapparaten zur Verwendung gelangt.[2]) Wird dadurch das lästige Aufspannen des Papiers auf die Walze umgangen, so tauscht man dafür die viel grössere Papiermenge und die etwas unübersichtlichere Form der Aufzeichnungen ein. Wenn auch G. B. Airy zu der Konstruktion des Greenwicher Apparates zum Theil durch die Länge des verbrauchten Streifens, den er an einem Abend für das dortige Observatorium auf über 500 Fuss schätzt, veranlasst wurde, hat doch die Bewältigung einer solchen Menge nicht dazu beigetragen, die Streifenapparate abzuschaffen. Im Gegentheil sind dieselben namentlich in Deutschland fast ausschliesslich in Benutzung, sowohl in Form der Stift- als auch in Form der Farbschreiber. Eine der älteren Anordnungen, welche jetzt wenig mehr anzutreffen sein wird, ist die, welche Ausfeld in Gotha wohl mit Benutzung

[1]) Vergl. S. 167.

[2]) Auch bei dem oben erwähnten Repsold'schen Chronographen ist ein Streifen verwendet.

Hansen'scher Ideen dem Apparate gegeben hat. Fig. 980 stellt einen solchen Chronographen dar, wie er gegenwärtig z. B. noch in Göttingen in Benutzung ist und sich auch, abgesehen von einem etwas ungleichförmigen Lauf, ganz gut bewährt. Auf einer Messingplatte 1, welche einer starken Holzunterlage aufgeschraubt ist, ist das eigentliche Laufwerk 2 und ein Ständer 3 für das in Cardan'scher Aufhängung 4 schwingende konische Pendel 5 befestigt. Ausserdem sind die verschiedenen Elektromagnete auf dieser Platte angebracht. Von letzteren dient 6 für den Uhrkontakt, 7 für die Signale des Beobachters und

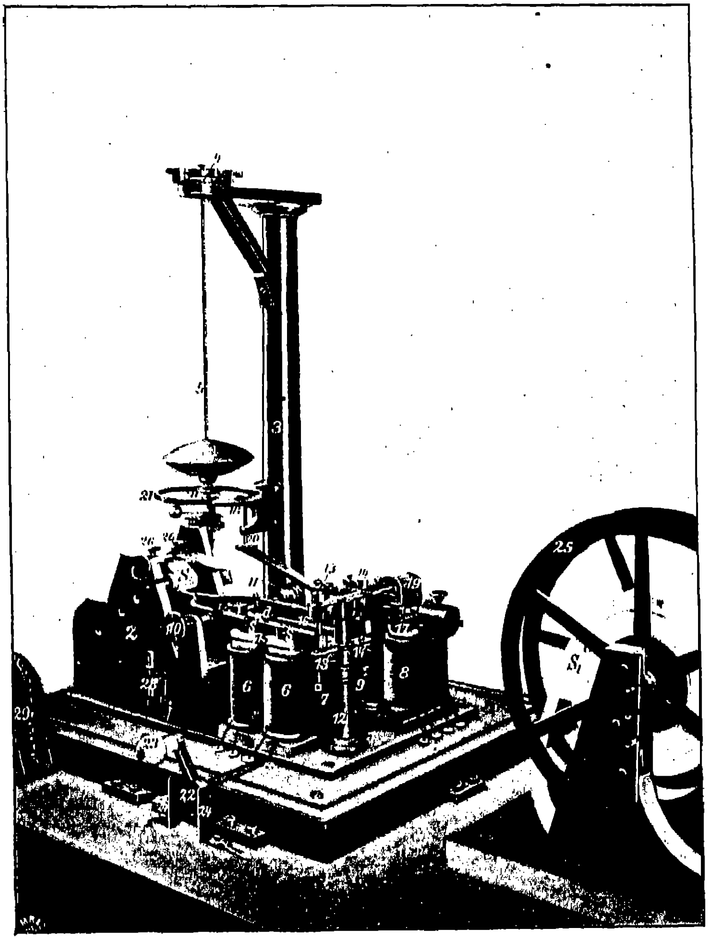


Fig. 980.

die beiden 8 und 9 sind zur Auslösung und zum Anhalten des Apparates vom Orte des Beobachters aus bestimmt. Die beiden Schreibhebel, deren nähere Einrichtung später noch erläutert werden wird, drehen sich um die Spitzenaxen 10—11 und ihre Amplitude wird durch die in dem Ständer 12 eingesetzten Schrauben 13, 13 und 14, 14 leicht regulirbar begrenzt. Diese Regulirung hat so zu geschehen, dass die Anker 15, 16 und 17 die Pole des betreffenden Magneten nicht berühren können. Um einen gleichmässigen Abstand zu erhalten, sind diese Anker mit den betreffenden Armen der Schreib-

hebel ebenfalls durch Zug- und Druckschrauben s u. d verbunden. Die Auslösung des Pendels, welches mit seiner Spitze in eine Gabel 18 greift, ganz ähnlich dem Greenwicher und Krille'schen Apparate, kann sowohl auf elektrischem Wege, als auch mechanisch mittelst einer Kurbel durch einen Hebel 19 und ein in der Figur nicht sichtbares Excenter bewirkt werden.

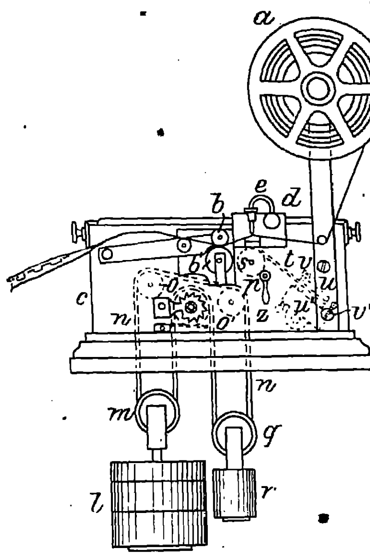
Wird der links gelegene Arm des Auslösehebels herabgezogen, so gestattet er dem in zwei Ansätzen des Ständers 3 geführten Stift 20 ebenfalls herabzugleiten, wodurch die Gabel 18 frei wird und die Bewegung des Uhrwerkes beginnen kann. Die Amplitude des Pendels wird durch einen Ring 21 begrenzt, welcher ebenfalls am Ständer 3 befestigt ist und gegen den ein kleines Rädchen r schleift, sobald das Pendel zu weit ausschwingt. Dieses Rädchen dreht sich sehr leicht um das unterste Ende der Pendelstange; darüber ist auf derselben ein Gewinde eingeschnitten, um mittelst einer Schraubenmutter m das Gewicht des Pendels etwas heben und senken zu können, damit das Sekundenintervall auf dem Streifen S eine entsprechende Grösse erhält. Die Bewegung wird dem Triebwerke durch ein Gewicht ertheilt, welches an einer sogenannten Kette ohne Ende hängt, wodurch eine Unterbrechung des Ganges beim Aufziehen verhindert wird und dies also auch ohne Schaden, während der Apparat in Thätigkeit ist, geschehen kann. Das elliptische Stück 22, welches später auf die Axe des Excenters aufgesetzt wurde, dient dazu, die elektrische Auslösung des Apparates anwenden zu können, ohne Störung der mechanischen, indem nur bei vertikaler Stellung der Kurbel 23 durch die beiden Federn 24 ein Stromschluss möglich ist. Der Papierstreifen wird in leicht verständlicher Weise von der Rolle 25 abgewickelt und von dem Triebwerk zwischen zwei Walzen bei S hindurchgezogen, von denen die eine zwei nebeneinander liegende Rillen hat, um die Eindrücke der Stifte im Papier besser hervortreten zu lassen und letztere vor zu schneller Abnutzung zu schützen. Der Druck der Rollen gegen einander kann durch besondere Federn regulirt werden, ebenso das richtige Anliegen des Streifens durch die beiden Führungen 26 und die Feder bei 27. Die Schraube bei 28 dient dazu, die Abreissfeder an dem Schreibhebel der Stromstärke entsprechend zu spannen.[1])

Wie schon erwähnt hat auch Hipp einen sehr guten Streifenapparat konstruirt, der, wie die oben erwähnten Walzen-Chronographen, jetzt von der Firma Peyer, Favarger & Co. in Neuchâtel gebaut wird. Die Fig. 981 zeigt einen solchen Apparat in schematischem Aufriss und Fig. 982 denselben von oben gesehen. Der Regulator ist ebenfalls die schwingende Lamelle t, welche, wie oben beschrieben, zwischen den Platten n und n′ gehalten wird und mittelst der Schrauben v, v′ regulirt werden kann, während der Griff z zur Auslösung des Echappementrades dient, welches in s angedeutet ist. Von der Vorrathsrolle a läuft der Streifen ausserhalb des Gehäuses des Triebwerkes c, c′ zwischen den beiden Rollen b und b′ hindurch, von denen die letztere auf der verlängerten

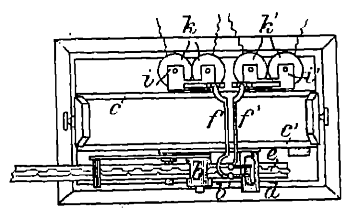
---

[1]) Ich habe die Beschreibung dieses Apparates so ausführlich gegeben, weil an der Figur mehrere Theile sichtbar sind, die in ähnlicher Form auch an anderen Chronographen wieder auftreten.

Axe eines Uhrrades sitzt und dadurch in Bewegung versetzt wird. Die beiden Heberfedern e, welche mit dem einen Ende in das gemeinschaftliche Reservoir d tauchen, sind an den Enden zweier Hebelarme f und f′ befestigt, welche sich in Ansätzen der Anker i und i′ leicht drehen können. Beim Auf- und Niedergehen der Anker durch die Magnete k und k′ werden dann die Federn seitwärts verschoben und markiren so, in der aus Fig. 983 ersichtlichen Weise, die Signale. Das Triebwerk wird durch Gewichtszug in Bewegung gesetzt. Aus der Fig. 981 ist die Anordnung der auch hier verwendeten Kette ohne Ende gut ersichtlich; dieselbe läuft über die Führungsrollen o, o′ und p, von denen die erstere die Stelle des Schneckenrades in einer Pendeluhr einnimmt. Von den Gewichten l und r dient das erstere zum Antrieb, das zweite aber nur zur Straffhaltung der Kettenschlinge o′ q n. Das Aufziehen erfolgt an der mit dem Sperrrade versehenen Welle, wie man sieht, ohne den Zug des Gewichtes l auf das Rad o irgendwie zu stören.


Fig. 981.

Wenn auch diese Hipp'schen Farbschreiber sehr kompendiös gebaut sind und sich deshalb auch für zeitweilige Observatorien (bei Längenbestimmungen und dergl.) ganz besonders eignen, so möchte ich bezüglich der wirklich erreichbaren Genauigkeit in der Aufzeichnung doch den Stiftschreibern den Vorzug geben, wenn auch die Ablesung der ersteren vielleicht als bequemer angesehen werden kann.


Fig. 982.

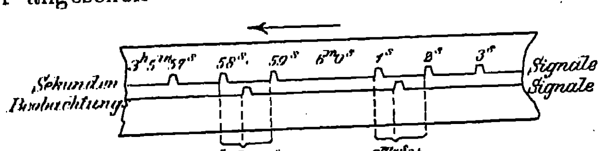


Fig. 983.

Einen mustergültigen Chronographen mit Stiftschreiber baut jetzt R. Fuess in Berlin. Ich möchte schliesslich diesen hier noch etwas genauer beschreiben, da er gegenwärtig sehr vielfach zur Anwendung gelangt.[1]) Die Fig. 984, 985 u. 986 stellen den Apparat und einige Details desselben dar.

[1]) Fuess baut diese Apparate nicht nur mit zwei Schreibhebeln, sondern auch mit drei und mehr solcher zu besonderen Zwecken. In meiner Beschreibung folge ich derjenigen, welche Loewenherz in seinem Bericht über die Berliner Gewerbeausstellung von 1879 von diesem Apparate giebt.

Das Laufwerk des Chronographen wird, wie beim Ausfeld'schen und Hipp'schen Apparate durch ein an einer stählernen Gelenkkette wirkendes schweres Gewicht getrieben, aber durch einen Windflügelregulator in gleichmässiger Geschwindigkeit erhalten. Eine ausserhalb des Laufwerks befindliche Walze i bewegt den Papierstreifen mit ungefähr 60 cm Geschwindigkeit in der Minute, so dass die Sekundenintervalle etwa 1 cm lang werden. Auf

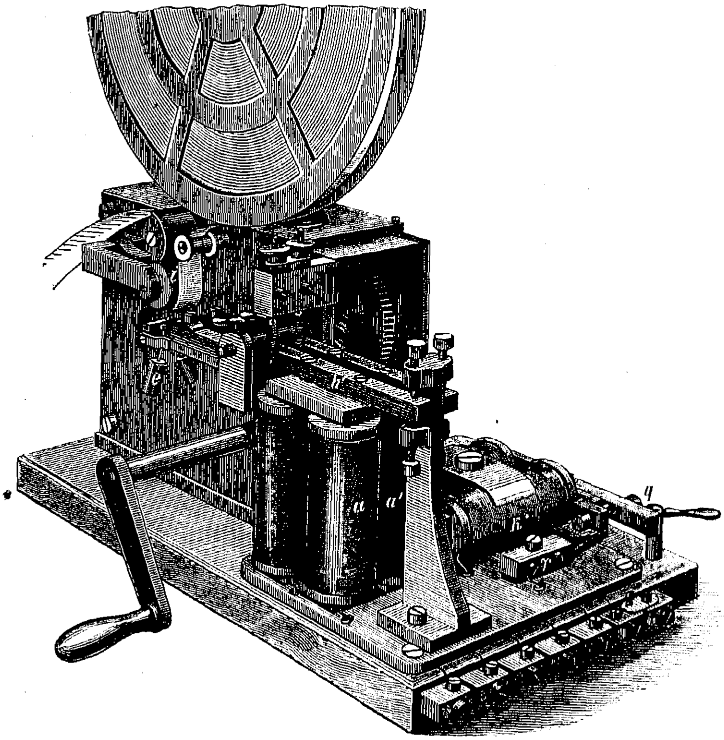


Fig. 984.
(Aus Loewenherz, Bericht.)

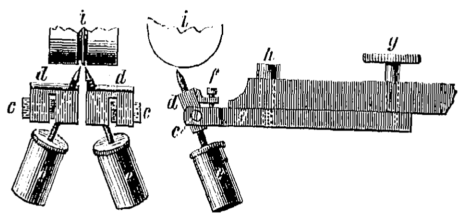


Fig. 985.

der Grundplatte des Apparates stehen zwei Elektromagnete a und a', von denen der eine in die Kontaktleitung der Uhr, der andere in diejenige des Signalschlüssels des Beobachters eingeschaltet ist. Die Markirung der Signale geschieht durch nadelförmig zugespitzte Schrauben e, die durch Anziehen der an den Signalhebeln b und b' befestigten Anker in den Papierstreifen Punkte einstechen. In den an den Signalhebeln um die Schrauben c, Fig. 985, leicht beweglichen Messingstücken d haben die Markirschrauben e ihr Mutter-

gewinde. Nach geschehenem Einstich in das Papier bewirkt der bewegte Streifen ein Neigen des Stücks d im Sinne des Papierlaufes und damit das Heraustreten der Schraubenspitze aus dem Papier. Da es darauf ankommt, dass die die Schraubenspitzen verbindende Linie senkrecht gegen die Längsrichtung des Streifens, oder vielmehr gegen die Bewegungsrichtung desselben ist, sind die beweglichen Endstücke d durch die Schrauben f justirbar. Mit Hülfe der mit Reibung in den Signalhebeln steckenden Stöpsel g, deren excentrische Enden in die einen Fortsatz der Signalhebel bildenden und um die Schrauben h drehbaren Theile eingreifen, kann man die Markirspitzen einander nähern und auch in ihre richtige Stellung zu der mit zwei nahe an einander liegenden Rillen versehenen Papierführungswalze i dirigiren. Zur Auslösung und Arretirung des Laufwerkes vom Standorte des Beobachters aus ist dem Apparat noch ein dritter Elektromagnet k, Fig. 984, angefügt,

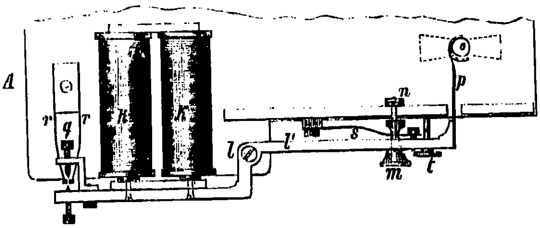


Fig. 986 a.

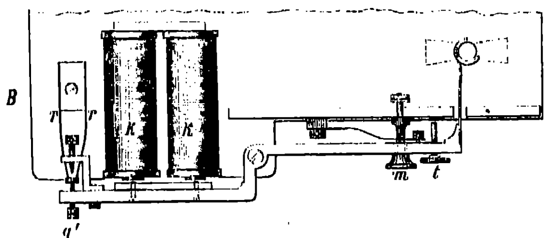


Fig. 986 b.

welcher diese Funktion durch Schluss eines Stromkreises verrichtet, wobei gleichzeitig die Uhr ein- und ausgeschaltet werden kann. Durch gewisse Anschlag- und Kontaktschrauben lässt sich sowohl die eine als auch die andere Wirkung erzielen. Je nach der Natur der Registrirungen wird die eine oder die andere Art der Arretirung ihre Vorzüge haben.[1]) Fig. 986 a giebt eine Skizze dieser Einrichtung. Der Magnet k hat seinen Anker angezogen, der um l drehbare Arretirungshebel l^1 liegt im Anschlag gegen den Kopf der Schraube m, welche in diesem Falle soweit aus der Platine des Laufwerks herausgeschraubt werden muss, wie die beiden Gegenmuttern n dies zulassen. Die am Ende des Arretirungshebels befindliche und die Bremsscheibe o der Windflügelaxe halbkreisförmig umschliessende Feder p bewirkt durch ihre Reibung an o den Stillstand des Laufwerks. Die Kontaktschraube q steht ausser Berührung mit den Federn r, welche im

[1]) Bei dem alten Ausfeld'schen Apparat können beide Funktionen ohne Änderungen am Auslösehebel von diesem gleichzeitig versehen werden.

Stromkreise der Uhr liegen. Ist dagegen der Strom im Arretirungsmagneten k unterbrochen, so wird durch die Feder s das Zurückfallen des Hebels l[1] bewirkt, der Kontakt der Schraube q mit den Federn r hergestellt und gleichzeitig ein Zurückziehen der Bremsfeder p in dem Sinne stattfinden, dass die Windflügelaxe frei wird. Die Schraube t findet einen Anschlag an der Platine des Laufwerks und verhindert das weitere Zurückgehen des Arretirungshebels, dessen Spielraum durch t und m begrenzt ist.

Fig. 986b zeigt die umgekehrte Wirksamkeit des Magneten, bei welcher durch den Stromschluss das vorher arretirte Laufwerk ausgelöst wird. Auch hier liegt wieder der Arretirungshebel l[1] an der Schraube m an, welche aber bis zu ihrem Ansatze in die Platine eingeschraubt, während t etwas zurückgeschraubt ist.

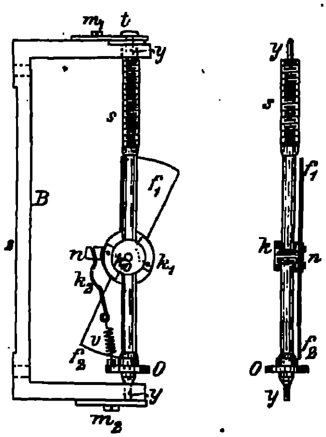


Fig. 987a. Fig. 987b.
(Nach Zetsche, Handb. d. elektr. Telegr.)

Es ist aus der Figur zu ersehen, dass hier die Arretirung eintreten muss, sobald der Magnet k seinen Anker loslässt und dass gleichzeitig die Kontaktschraube q', welche bei dieser Anwendung des Chronographen wirksam ist, ausser Verbindung mit den Federn r tritt, also die Uhr auslöst.

Die Einrichtung des regulirenden Windflügels ist sehr nahe die in den Fig. 987a u. b dargestellte. Die durch das Mittelstück k verbundenen beiden Sektoren f_1 und f_2 sind seitwärts an der Axe y der zweigängigen Schraube ohne Ende s befestigt.[1]) Die lothrechte Axe y läuft an beiden Enden in feine Zapfen aus, welche durch die beiden rechtwinkligen Ansätze des an die hintere Kastenwand festgeschraubten Messingwinkels B frei hindurchgehen und in geeigneten Bohrungen ihre Führung haben. Der obere Zapfen y legt sich bei Hebung der Axe gegen den Achatstein t an, während das Triebwerk läuft, weil dabei das die Bewegung auf die Schraube ohne Ende s übertragende Schneckenrad auf die Unterseite der Schraubengänge wirkt und die Schraube sammt ihrer Axe nach oben drückt.

Auf der Axe y y, ungefähr in der Mitte ihrer Länge, ist eine mit 2 Zapfen versehene kleine Stahlkugel aufgelöthet; der eine längere dieser Zapfen k_0, greift in den in Fig. 987b mit voller Fläche sichtbaren Boden der Kapsel k hinein. Auf der dem Boden gegenüberliegenden Seite ist die Kapsel offen und nur mit einem über ihre cylindrische Wandung ein wenig vorstehenden Rande versehen. Von der Wandung sind oben und unten ein Theil segmentartig abgeschnitten, an jedem der von ihr übrig bleibenden Seitentheile k_1 und k_2 jedoch der Rand nach einer Seite hin etwas überragend stehen gelassen, so dass diese Theile eine flügelartige Gestalt annehmen. Mit einer quer über die Lappen k_1 und k_2 gelegten schmalen Messingschiene n wird

[1]) Zetsche, Handbuch der elektr. Telegraphie, Bd. III, S. 445. Berlin 1884.

der zweiflügelige Windfang f_1 f_2 durch zwei Schrauben befestigt. Der Doppelflügel f_1 f_2 besitzt in der Mitte ein Loch, und durch dieses tritt der zweite Zapfen der Kugel in ein entsprechendes Loch in der Schiene n ein. Kapsel, Schiene und Windfang können sich daher um die beiden Zapfen frei drehen.

In den Einschnitt der Schiene n ist ein zu zwei Häkchen umgebogener Stahldraht eingehängt, in dessen unterem Ende eine feine Spiralfeder v eingehakt ist, deren unteres Ende an einem Ansatze auf den Messingscheibchen o befestigt ist.

So lange das Triebwerk nicht läuft, dreht die schwach gespannte Feder v die Kapsel k nebst dem Flügel f_1 f_2 soweit herum, bis die Lappen k_1 und k_2 an die Axe y anstossen. Wird das Laufwerk in Gang gesetzt, so strebt die Centrifugalkraft den Flügel f_1 f_2 von der Axe y zu entfernen und dreht denselben deshalb um die Zapfen nach der horizontalen Stellung hin, in welcher er normal zur Axe y stehen würde. Dieser Drehung widersetzt sich die Feder v und zwar bei allen Stellungen des Flügels und der Schiene n mit nahezu derselben Kraftäusserung; denn je mehr sich der Flügel seiner horizontalen Lage genähert hat, desto grösser ist zwar die dermalige Spannung der Feder o, desto kleiner ist aber zufolge der Drehung der Schiene n zugleich auch der Hebelarm geworden, an welchem die Feder v wirkt. Durch die Laufgeschwindigkeit des Triebwerks ist daher die Flügelstellung bedingt, bei welcher die Momente der Centrifugalkraft und der Federspannung einander gleich sind und es ist leicht einzusehen, wie auf diese Weise eine sehr gute Regulirung erzielt werden kann; denn jede Abweichung von der normalen Laufgeschwindigkeit und der zugehörigen Flügelstellung wird sich nach einigen rasch verlaufenden Schwankungen von selbst beseitigen. Das erwähnte kleine Messingscheibchen o auf der Axe y dient, wie schon erwähnt, zum Bremsen des Laufwerks.

Obgleich der oben beschriebene Windflügel-Regulator recht gut funktionirt, hat trotzdem Fecker & Comp. in Wetzlar versucht, denselben bei im Übrigen den Fuess'schen Apparaten ganz gleich gebauten Apparaten durch ein konisches Elasticitäts-Pendel zu ersetzen und zwar, wie es mir scheint, mit gutem Erfolge. E. v. Rebeur-Paschwitz beschrieb einen solchen Chronographen in Zschr. f. Instrkde. 1887, S. 171 ff. Das Wesentlichste davon mag hier mit Bezug auf die Fig. 988 wiedergegeben werden.[1]) Das letzte Getriebe des Laufwerkes trägt in der Mitte seiner Welle ein feingezahntes Kronrad C, das eine vertikal stehende Spindel durch das Trieb t in schnelle Umdrehung versetzt. Auf der oberen Seite des Uhrgehäuses, aus welchem die Spindel hervorragt, ist auf derselben ein Mitnehmerstück m befestigt, welches in einem radialen Schlitz das untere Ende des Pendels aufnimmt. Letzteres hat seinen Drehpunkt in einer genau senkrecht über der Spindel befindlichen Öffnung des auf dem Gehäuse aufgeschraubten Bügels D. Dasselbe besteht aus der Pendelstange R und dem verschiebbaren Gewicht G.

[1]) Bei Äquatorealtriebwerken wenden die Repsolds jetzt allgemein ähnliche Elasticitätspendel an. Dabei bestehen die Pendel aber immer aus einer besonders geformten starken Stahlstange, während hier den Spiralfedern der Vorzug gegeben wird.

Um der Pendelstange die bei der raschen Drehung erforderliche Elasticität zu geben, ist dieselbe aus zwei neben einander aufgewickelten Spiralfedern hergestellt, an deren Enden kurze Stahlstäbchen angenietet sind, welche in die Öffnungen des Bügels D und des Pendelgewichtes passen.

Die Führungswalze r′, welche auf dem einen Ende eines zweiarmigen Hebels H aufsitzt und durch Verzahnung von der Hauptwalze r mit in Umdrehung versetzt wird, wird durch die am anderen Ende des Hebels befestigte Spiralfeder S gegen r gedrückt.

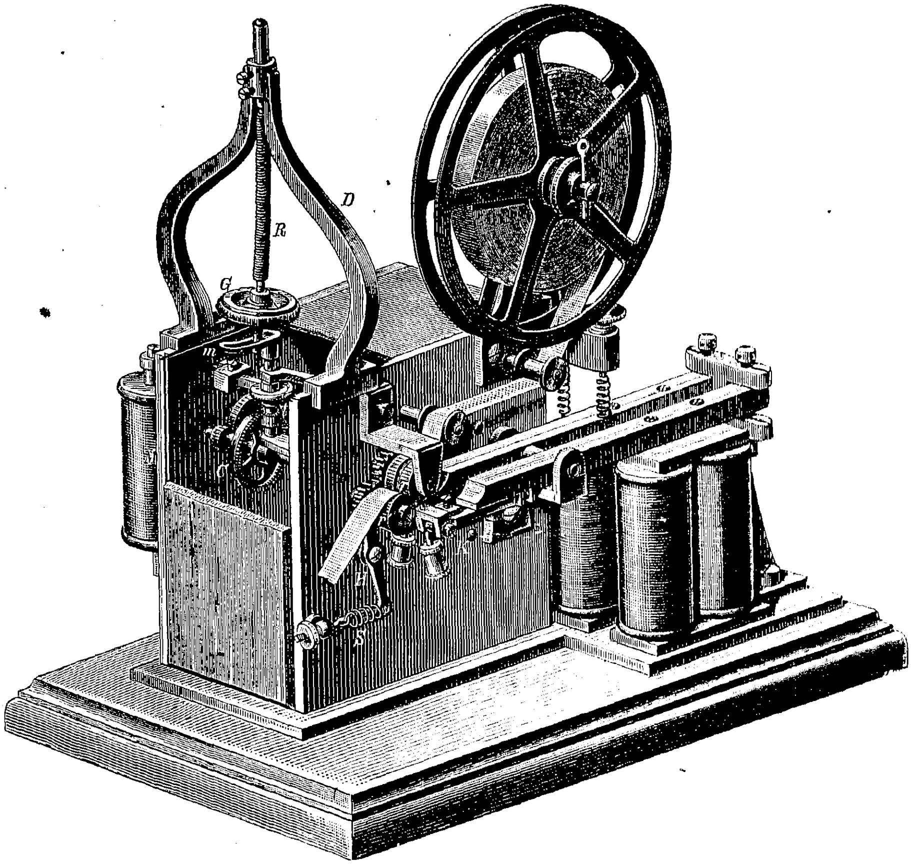


Fig. 988.

Die elektrische Ein- und Auslösung des Uhrwerkes vom Standort des Beobachters erfolgt durch einen mit Kommutator versehenen Taster und einen an der Rückseite des Apparates angebrachten Magneten M, Fig. 989, mit polarisirtem Anker A. Durch den Kommutator kann der elektrische Strom in verschiedener Richtung durch die Spulen des Magneten geleitet werden, so dass der Anker in Folge des dadurch verursachten Polwechsels abwechselnd sich gegen den einen und den anderen Pol anlegt. Der mit dem Anker verbundene, um eine vertikale Axe d drehbare Bügel A′ arretirt, wenn er sich mit seinem halbkreisförmigen Ende gegen eine oberhalb des Triebes t auf der Regulatorspindel befestigte Bremsscheibe B drückt, die Bewegung des

Uhrwerkes. Dieser Fall tritt ein, wenn der Anker am rechten Pol anliegt und in dieser Lage wird er durch den eigenen Magnetismus auch festgehalten, wenn kein Strom durch die Spulen läuft. Liegt er gegen den linken Pol an, so ist die Bremsscheibe frei und das Uhrwerk setzt sich in Bewegung.

Zu den Streifenapparaten ist auch eine Einrichtung zu zählen, welche Prof. Hough in den 70er Jahren vorgeschlagen hat[1]) und die darauf ausgeht, auf einem durch ein Uhrwerk bewegten breiten Streifen die Beobachtungszeiten gewissermassen gleich in ablesbaren Zahlen zu drucken. Das Princip ist folgendes. Von einem sehr gleichförmig gehenden, eventuell kontrolirten Laufwerke werden mehrere Wellen mit verschiedener Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt, auf diesen Wellen befinden sich Typenräder, welche der betreffenden Geschwindigkeit entsprechend in einer Minute resp.

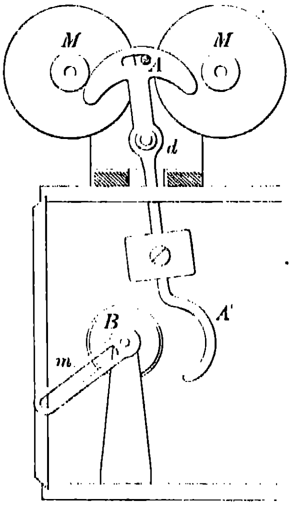


Fig. 989.

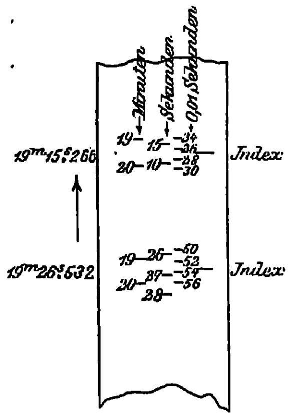


Fig. 990.

in einer Sekunde eine Umdrehung machen. Mit dem ersteren Rade ist auf mechanischem Wege ein zweites verbunden, welches nach jeder vollen Umdrehung des Minutenrades um ein Intervall weiter rückt, wie man das an vielen Zählwerken vorfindet. Wie bei den Repsold'schen Mikrometerdruckapparaten sind die Typen erhaben gravirt und zwar befinden sich auf dem Minutenrad 60 Zahlen, auf dem Sekundenrad aber die Zahlen 0, 2, 4, 6 .. 98. Eine Rolle versieht die Typen mit Farbe und wenn nun in einem Beobachtungsmoment ein Hammer, welcher durch den Beobachter elektrisch ausgelöst wird[2]), auf das zwischen ihm und den Typenrädern hindurchgehende Papier niederfällt, druckt sich die jeweilige Stellung der Typenräder auf das Papier ab und man erhält die Angabe des Beobachtungsmomentes direkt in

[1]) Solche Vorschläge sind auch schon früher gemacht worden von Prof. Hilgard von U. S. Coast Survey und C. A. Young.

[2]) In der ersten Einrichtung fand die Auslösung und Hebung des Hammers auf mechanischem Wege statt.

Zahlen bis auf 0^s01-0^s02 genau aufgedruckt, etwa in der in nebenstehendem Schema, Fig. 987, gegebenen Weise. Besondere Vorsorge ist getroffen, dass selbst eine Berührung des Hammers mit dem Sekundenrade dieses in seinem regelmässigen Laufe nicht stören kann, ausserdem kann das letzte Rad auch für sich ausgeschaltet werden.

3. Scheibenapparat nach Mitchel.

Einer gewissen Vollständigkeit wegen mag hier auch noch der von Prof. Mitchel, einem der Ersten, welcher die galvanische Aufzeichnung der Beobachtungen einführte, in den 50er Jahren für das Dudley Observatorium konstruirte Chronograph kurz beschrieben werden.[1]) Auf einem starken Tische A, Fig. 988, sind die beiden Ständer R und R′ und die Schienen W, W für den Wagen V befestigt. Der auf drei Rädern geradlinig bewegliche Wagen trägt ein Laufwerk, welches eine senkrechte Axe durch Vermittlung verschiedener Räder und Triebe in Bewegung setzt. Die Regulirung wird durch das in der Büchse S befindliche Centrifugalschleifwerk erreicht. Die senkrechte Axe trägt auf ihrem oberen Ende die plane Scheibe f und

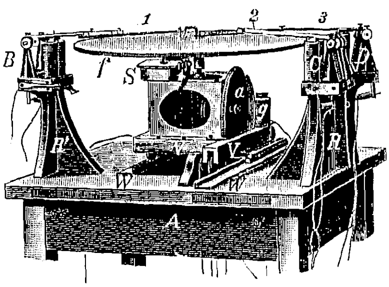


Fig. 991.
(Nach Ann. of the Dudley Observatory, Bd. I.)

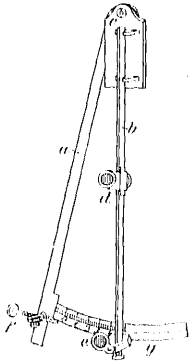


Fig. 992.

diese ist auf ihrer Oberfläche mit Papier bespannt. Von einer Uhr mit elektrischem Kontakt wird durch den Elektromagneten g mittelst Sperrrades der Wagen nach jedem Umlauf der Scheibe um ein kleines Stück radial zur Scheibe f fortbewegt. Auf den Ständern R und R′ sind die Elektromagnete B, C und D für die Schreibhebel 1, 2 und 3 montirt. An den langen Enden dieser Winkelhebel befinden sich die Schreibfedern und die Anker, die kurzen Arme dienen den Abreissfedern als Angriffspunkte. Der Schreibhebel 1 ist für die Uhrsignale bestimmt, während die beiden anderen zur Registrirung der Beobachtungen dienen. Die Zeichen werden somit alle radial angeordnet sein und die einzelnen Punkte bilden koncentrische Kreise, die um die Grösse der Verschiebung des Wagens, welche von Minute zu Minute erfolgt, von einander abstehen. Es ist klar, dass auf diese Weise gleichen Zeitintervallen mit dem Radius veränderliche Längenintervalle ent-

[1]) Der Beschreibung dieses Chronographen in den Annals of the Dudley Observatory, Bd. I, S. 26ff., gehen interessante historische Daten voraus, welche zum Theil dem I. Bande der Annalen des Harvard Colleges entnommen sind.

sprechen müssen, die nahe dem Centrum sehr klein ausfallen würden; deshalb wird die 22 Zoll messende Scheibe nur auf einem 8 Zoll breiten äusseren Ringe zur Aufzeichnung benutzt.

Zur Ablesung der auf koncentrischen Kreisen liegenden Registrirsignale ist daher auch ein ganz besonderer Apparat konstruirt worden, welchen die Fig. 989 darstellt. Die beiden Schienen a und b bewegen sich um die Axe c und der Winkel, den sie mit einander einschliessen, kann an dem Bogen g abgelesen werden und zwar an einer Theilung, welche den auf dem Registrirblätte aufgezeichneten Sekundenintervalle entspricht. Die Schraube f dient zur Markirung des Ausgangspunktes der Zählung und die Lupen bei d und e zur genauen Einstellung der Registrirzeichen; die Lupe d ist dem jeweiligen Radius entsprechend verschiebbar.

4. Ablesceapparate.

Am Schlusse des vorigen Abschnittes ist schon in direkter Verbindung mit dem Mitchel'schen Scheibenchronographen eine Einrichtung besprochen worden, welche die Auswerthung der registrirten Signale auf möglichst einfachem und rein mechanischem Wege vermittelt. Von allgemeinem Interesse sind natürlich diejenigen Ablesceapparate, welche nicht mit einer ganz besonderen Konstruktion des Chronographen in Verbindung stehen. Es würde ja das Einfachste sein, die den Beobachtungen entsprechenden Punkte einfach in die gleichweit von einander abstehenden Uhrsignale einzuschätzen, was auch bei einiger Übung ganz gut bis auf 0ˢ.02—0ˢ.03 möglich ist. Sind aber sehr viele solcher Signale abzulesen, so ist die Anstrengung, welche ein solches Schätzen nöthig macht, nicht ganz unbedeutend und andererseits sind die Sekundenintervalle nicht immer ganz gleich; das gilt namentlich von je zwei auf einander folgenden Sekunden, während die Summe zweier Sekunden-Intervalle bei nur einigermassen gutem Gange des Chronographenlaufwerkes einander gleich zu sein pflegen.[1] Dadurch würde aber eine gewisse Unsicherheit in die Schätzungen kommen, weil man dabei naturgemäss immer nur die beiden zunächst gelegenen Sekundenpunkte in Betracht ziehen kann. Man hat deshalb fast alle Ablesceapparate so eingerichtet, dass die Messung über zwei Sekundenintervalle ausgeführt werden kann. Der

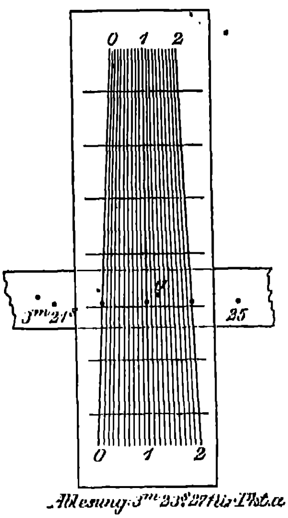


Fig. 990.

[1]) Es kann diese Ungleichheit der „geraden" und „ungeraden" Sekundenintervalle veranlasst werden durch ein etwas ungleiches Arbeiten des Echappements oder auch durch Phasendifferenzen, welche durch eine doppelseitige Kontaktvorrichtung veranlasst werden. Auch hat sich gezeigt, dass bei dem „Einschätzen" der Signale gewisse, vielleicht physiologische, Ungleichmässigkeiten vorkommen. Es treten nämlich gewisse Zehntel und Hundertel erheblich häufiger auf als andere, was doch bei einer grossen Anzahl solcher Ablesungen, da kein Grund für ihre besondere Vertheilung vorliegt, nicht der Fall sein sollte.

einfachste Apparat ist offenbar, abgesehen von einem gewöhnlichen Millimetermaass (wie oben erwähnt), die von R. Fuess seinem Chronographen beigegebene Glasskala, wie Fig. 993 eine solche schematisch darstellt. Würden die Sekundenlängen der Registrirstreifen immer dieselbe Länge haben, so wäre eben nur ein nach der einmal festgesetzten Einheit getheilter Maassstab nöthig, wie das bei den Trommelapparaten thatsächlich meist der Fall ist; da aber diese Intervalle bei den Streifenapparaten oft mehr oder weniger veränderlich sind, so muss auch die Theilungseinheit etwas variirt werden können. Fuess erreicht das einfach durch die geringe Konvergenz, welche er einer Anzahl von an ein und demselben Querschnitt äquidistanten Linien auf einer Glasskala giebt. Wird diese Skala so auf den Streifen aufgelegt, dass die

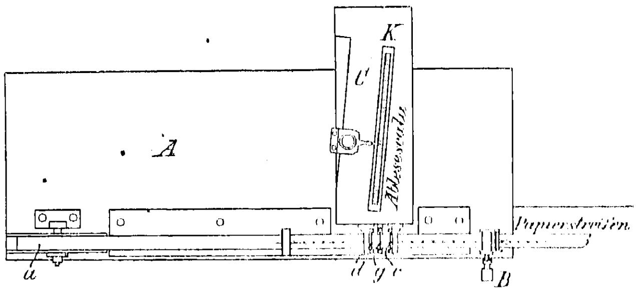


Fig. 994.

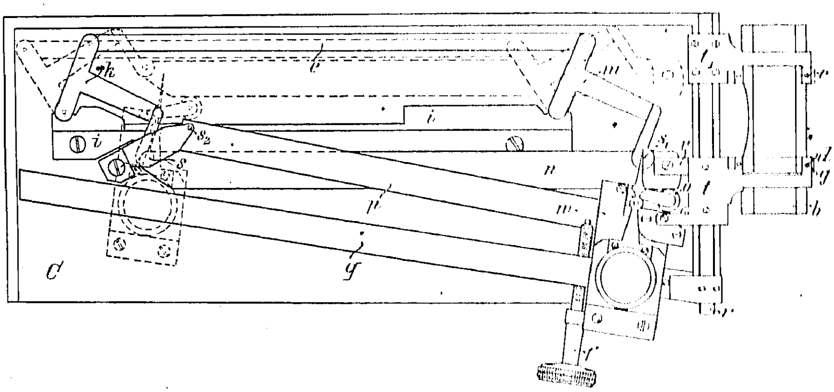


Fig. 995.

beiden äusseren Linien 0, 0 und 2, 2 durch zwei um 2 Sekunden abstehende Punkte gehen, so wird dieses 2^s-Intervall durch die übrigen 19 Linien in Theile von $0^s.1$ getheilt und es kann dann die Einschätzung für den Beobachtungspunkt noch mit Leichtigkeit auf $0^s.01$ geschehen. Das immer von Neuem nöthige Auflegen der Skala und das Fortrücken des Streifens ist immer noch etwas umständlich. Deshalb hat man durch Konstruktion anderer, allerdings weit komplicirterer Apparate das Ablesen noch zu vereinfachen, resp. es bequemer zu machen gesucht. Dahin gehört z. B. der nach Theod. v. Oppolzer's Angaben von Hipp in den 70er Jahren konstruirte Apparat. Derselbe ist in den Fig. 994, 995 in Gesammtansicht und nach Abnahme der Deckplatte dargestellt, sodass man seine Einrichtung

genau übersehen kann. Zu diesen, mir von dem Herrn FAVARGER mit besonderer Freundlichkeit zur Verfügung gestellten Zeichnungen, giebt derselbe auch die folgende, die wesentlichen Theile erläuternde Beschreibung. Der Apparat besteht aus einer Holztafel A, auf der die Rolle a mit dem Chronographenstreifen und der eigentliche Ablesemechanismus befestigt ist. Eine Gleitrinne führt den Streifen unter den Fäden c, d und g hindurch, er wird durch Drehung der Klemmrollen bei B weiterbewegt. In der Fig. 995 ist das Innere des Kastens C mit den sinnreich angeordneten Bewegungsstücken dargestellt. Die Schiene i ist fest mit der Grundplatte des Kastens verschraubt, sie dient zur Aufnahme der Drehpunkte der Stücke k und m, welche zwei gegenüberliegende Seiten des aus ihnen und den Schienen i und e bestehenden Parallelogramms bilden. Die Ansätze von k und m führen in leicht ersichtlicher Weise die Schiene n parallel zu i und e. An n ist rechts das Stück v mit dem beweglichen Faden g angeschraubt.

Unter e ist eine Spiralfeder angebracht, welche durch ihre Spannung bestrebt ist, das System i e k m n immer in die in der Figur durch ausgezogene Linien angegebene Lage zu stellen, in welcher der Faden g mit dem Faden d, einem der beiden das Zweisekundenintervall begrenzenden Fäden genau zusammenfällt. Um den festen Punkt s_2 ist die Stahlstange p drehbar, das andere Ende derselben ist beweglich mit dem Stück t verbunden, welches den Faden d trägt und auf der Führungsstange r gleiten kann. Die Lage von p gegen die feste Führungsschiene des Zeigerschlittens w kann durch die Schraube f verändert werden, wodurch das Zweisekundenintervall der Fäden c und d dem Streifen entsprechend korrigirt werden kann. Auf der Deckplatte des Kastens befindet sich die Skala K, auf welcher der Zeiger des Schlittens w direkt in 0,01 Sek. die Stellung angiebt, die der Faden g zwischen d und c einnimmt. Die proportionale Bewegung zwischen Zeiger, Schlitten und Faden g wird dadurch hervorgebracht, dass zwei Rollen bei O sowohl an der Schiene n als auch an p entlang laufen, Fig. 995, wodurch erstere um Strecken nach oben verschoben wird, die dem Zeigerweg stets proportional sein müssen. Dass die Schienen n und p immer fest an der Rolle anliegen, dafür sorgt die erwähnte Spiralfeder unter e. Die Forderung, dass die Projektion der Skalenlänge auf die Streifenrichtung immer gleich dem jeweiligen Doppelsekundenintervall ist, wird durch die zwangläufige Verbindung zwischen den Stücken p und t bewirkt, während t_1 mit Faden c auf dem Gehäuse festgeschraubt ist.

Einen etwas einfacheren Apparat hat VON STERNECK angegeben und N. HERZ hat noch eine Verbesserung desselben vorgeschlagen. Die Einrichtung dieses Apparates geht aus Fig. 996 hervor.[1]) Derselbe besteht aus einer horizontalen Platte, auf welche in die vertiefte Rinne B, B′ der Streifen so gelegt wird, dass ein darüber gespannter fester Metallfaden F mit dem Anfangspunkt eines Zweisekundenintervalles koincidirt.

---

[1]) Beschrieben ist der verbesserte Apparat von N. Herz in den Astron. Nachr., Bd. 117, S. 263, während ein ausführliches Referat von O. Knopf sich in Zschr. f. Instrkde., Bd. 1888, S. 290 befindet; diesem ist die hier gegebene Beschreibung im Wesentlichen entnommen.

Ein zweiter zu F paralleler Metallfaden F′ sitzt an einem auf einer Führungsleiste parallel zu B, B′ verschiebbaren Schlitten P, Q und wird durch Drehung einer geschlitzten Leiste L um Punkt D mit der Endmarke eines Zweisekundenintervalles zur Koincidenz gebracht. Durch diese Drehung der Leiste L mittelst des Knopfes K wird zugleich eine in zwei Führungen gleitende Skalenplatte M, N parallel zum Streifen verschoben. Die Skala S T T′ S′ ist ein Netz konvergirender Linien und so eingerichtet, dass die Projektion einer durch den Index I des auf einer festen Leiste a, b gleitenden Schiebers R gelegten Parallelen zu S T auf die Streifenrichtung B B′ gleich der zugehörigen Gesammtlänge des Zweisekundenintervalles F F′ ist. Mit dem Schieber R ist ein Metallfaden f, der parallel zu F und F′ liegt, verbunden und dieser wird durch Verschiebung von R auf a b mit der Marke des Registrirapparates, deren Lage in Theilen des Zweisekundenintervalles E F′ bestimmt werden soll, zur Koincidenz gebracht. Da die

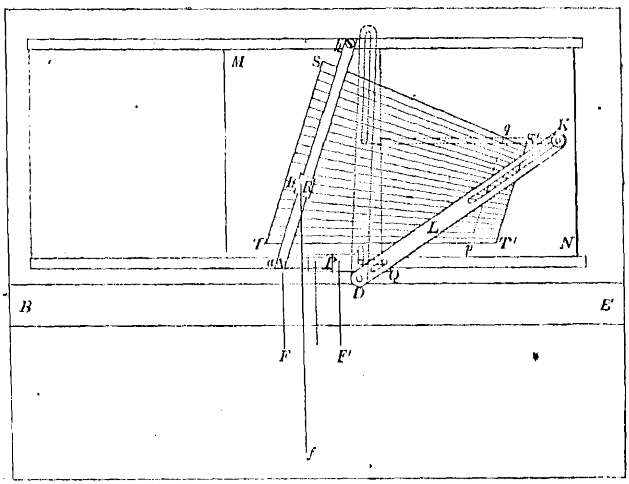


Fig. 996.

Strecke T S in 20 Theile getheilt ist, und die konvergirenden Strahlen der Skala durch die Theilpunkte geführt sind, so kann man durch Schätzung der Stellung des Index I auf ein Zehntel eines Skalenintervalles die Lage der Registrirmarke innerhalb des Zweisekundenintervalls auf 0,01 Sek. bestimmen. In der Zeichnung ist die Lage der Skala, sowie die des Fadens F′ und des ihn tragenden Schiebers P Q in der äussersten Stellung nach rechts, d. h. für die Maximalgrösse des Zweisekundenintervalls (Abstand F F′), dargestellt und durch punktirte Linien die der Minimalgrösse des Zweisekundenintervalls entsprechende Lage dieser Theile angedeutet. In letzterer Lage würde dann der Index I auf der punktirt angedeuteten Linie p q, deren Projektion auf die Bewegungsrichtung der Minimalgrösse des Zweisekundenintervalls (F bis zur punktirten Parallelen dazu) gleich ist, entlang laufen.

Die beiden zuletzt beschriebenen Apparate weisen, so sinnreich sie auch konstruirt sein mögen, doch eine erhebliche Komplikation auf, und es mag daher noch das Princip eines sehr einfachen Mechanismus beschrieben werden,

welchen de Ball vor mehreren Jahren angegeben hat.[1]) „Vier paarweise gleiche Leisten sind an ihren Enden drehbar durch Stifte so mit einander verbunden, dass sie ein Rechteck darstellen. Ein Paar der gegenüber liegenden Seiten, a b u. c d sind von 21 gleich weit von einander abstehenden, dünnen Fäden überspannt, so wie es die Fig. 997 andeutet. Sind nun die Entfernungen so gewählt, dass die äussersten Fäden weiter von einander abstehen, als das vorkommende grösste Zweisekundenintervall beträgt, so lässt sich diesen Fäden durch Verschieben der beiden anderen Seiten des Rechtecks immer eine solche Stellung geben, dass sie auf zwei Sekundenpunkte, welche um zwei Sekunden von einander abstehen, treffen. Die zwischenliegenden Fäden werden dann das betreffende Intervall in Zehntel-Sekunden theilen und so eine leichte Ablesung etwaiger Beobachtungssignale bis auf 0,01 Sek. ermöglichen. Diese Einrichtung ist gewiss sehr einfach und kann, sofern die Drehungspunkte der Leisten und der Fäden gegenüber diesen Leisten zuverlässig funktioniren (d. h. die Fäden sehr biegsam sind und unter allen Umständen straff bleiben), sehr empfohlen werden, namentlich, wenn etwa durch verschiedene Färbung der Fünfer- und des Zehnerfadens für leichte Übersichtlichkeit Sorge getragen ist.

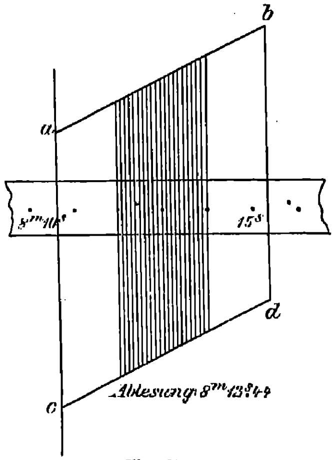


Fig. 997.

[1]) Astron. Nachr., Bd. 115, S. 263.

Neunzehntes Kapitel.

Parallaktisch aufgestellte Refraktoren.

1. Allgemeines und ältere Instrumente.

In diesem Kapitel soll die Besprechung derjenigen Instrumente gegeben werden, welche der Natur ihrer jetzigen Anwendung nach eine Aufstellung erfordern, für welche Bequemlichkeit der Handhabung und leichte Einstellung beliebiger Stellen des Himmels eine grössere Wichtigkeit haben, als eine so sichere und unveränderliche Fundirung, wie es für die in dem vorigen Kapiteln besprochenen Durchgangsinstrumente gefordert werden musste.

Da sich in allen neueren Sternverzeichnissen die Orte der Gestirne jetzt nur noch nach Rektascension und Deklination aufgezeichnet finden, so hat man der leichteren Einstellung wegen für solche Instrumente den Äquator als Fundamentalebene der Montirung gewählt. Demgemäss ist eine Axe in die Richtung nach dem Weltpole, also parallel der Erdaxe gelegt, während die andere Axe senkrecht dazu steht, so dass sie bei Drehung der ersteren Axe die Ebene des Äquators beschreibt. Die zuerst genannte Axe nennt man die Polar- oder auch die Stundenaxe, die letztere die Deklinationsaxe. Mit dieser ist wiederum rechtwinklig das Fernrohr verbunden. Dadurch ist die Möglichkeit vorhanden, der Absehenslinie des Fernrohrs jede gewünschte Richtung im Raume zu geben und deren Lage sodann an den zu den Axen senkrecht stehenden Kreisen direkt in Form von Rektascension und Deklination abzulesen, resp. ihr mit Hülfe dieser Kreise eine durch solche Koordinaten definirte Stellung zu geben. Weiterhin ist sofort einzusehen, dass nach Einstellung des Fernrohres auf ein bestimmtes Gestirn dieses seinen Ort im Gesichtsfelde nicht ändern wird, wenn das Fernrohr, ohne sich um die Deklinationsaxe drehen zu können, durch eine Drehung um die Stundenaxe so weiterbewegt wird, dass die Winkelgeschwindigkeit dieser Drehung gleich, aber entgegengesetzt der Bewegung der Erde um ihre Axe ist. Hat man diesen Vortheil früher nur ausgenutzt, um bei mikrometrischen Messungen oder einfachen Betrachtungen gewisser cölestischer Objekte mittelst geeigneter Schlüssel und Feinbewegungen das Fernrohr durch die Hand in diesem Sinne zu bewegen, so ist später nach FRAUNHOFER's Vorgang an die Stelle der Hand ein Uhrwerk getreten. Dadurch wurde es möglich, den Beobachter von dieser mechanischen Thätigkeit zu entlasten, sodass er seine volle Aufmerksamkeit auf die Beobachtung, resp. die Messungen im Gesichtsfelde koncentriren kann, und der Bewegung eine grosse Gleichförmigkeit auf die Dauer

von mehreren Stunden zu geben. Es wird daher auch nöthig sein, zugleich in Verbindung mit den Äquatorealen die Triebwerke derselben zu beschreiben.

Die Wahl des Äquators als Fundamentalebene hat weiterhin den Vortheil gebracht, dass man in der Lage ist, in der Brennebene des Fernrohrs mikrometrische Einrichtungen, namentlich Fadensysteme, anzubringen, welche während der Bewegung des Fernrohrs eine bestimmte Lage zu den Stunden- und Parallelkreisen am Himmel beibehalten, also z. B. diesen immer parallel bleiben und somit selbst ein System von Theilen solcher Kreise darstellen, wodurch Rektascensions- und Deklinationsdifferenzen, eventuell mit Benutzung beweglicher Fäden (siehe Kapitel Mikrometer), direkt gemessen werden können.

Zunächst war man der Ansicht, dass es möglich sein würde, mittelst solcher äquatoreal aufgestellter Instrumente auch Rektascension und Deklination direkt bestimmen zu können. Man versah deshalb diese Instrumente

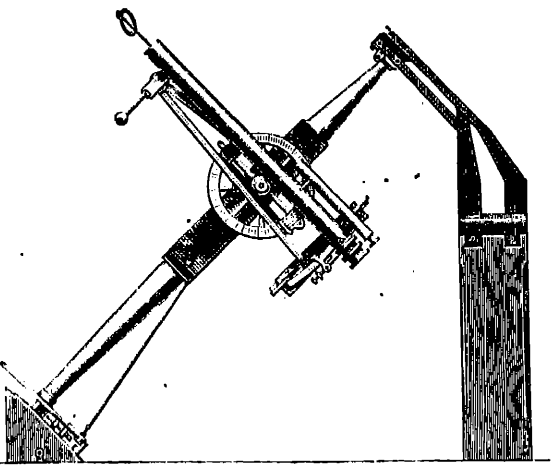


Fig. 998.

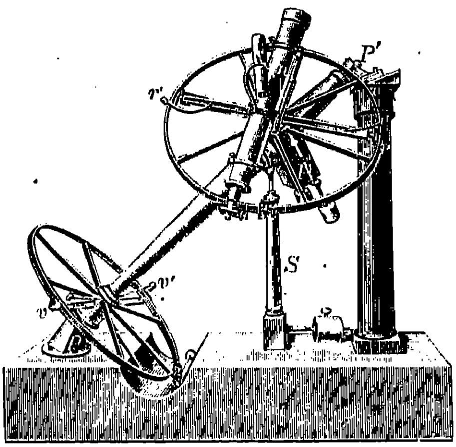


Fig. 999.

auch mit genau getheilten Kreisen von grossem Durchmesser und mit genauen Ablesevorrichtungen. Solche Instrumente sind heute nicht mehr zu diesem Zwecke in Benutzung oder sind auch wohl nie ernstlich in dieser Weise in Thätigkeit gewesen. Höchstens hat man mittelst der Kreisablesungen Anschlüsse an sehr nahe gelegene Sterne versucht, da bei diesem Verfahren der Einfluss der Instrumentalfehler, welche bei Äquatorealen nicht so klein und so konstant sind und unter so einfacher Kontrole gehalten werden können, als bei Durchgangsinstrumenten, auch nur ein geringer sein wird und dieselben deshalb nur genähert bekannt zu sein brauchen.[1])

Auch kleinere Fernrohre hat man früher mit solcher Aufstellung versehen und denselben dann häufig nur Theile von Kreisen bei-

[1]) Sowohl deutsche wie englische Mechaniker haben solche Instrumente gebaut. Das alte Leipziger und das Hamburger Äquatoreal hatten resp. haben solche Kreise. Das erstere ist längst auseinander genommen, während das letztere jetzt auch ausschliesslich zu Mikrometerbeobachtungen benutzt wird. In den 80er Jahren sind an diesem Äquatoreal solche Anschlüsse, aber ohne erheblichen Erfolg versucht worden.

gegeben. Da solche Instrumente unter Umständen auch an verschiedenen Orten Benutzung finden sollten, so hatte man dafür zu sorgen, dass die Lage der Polaraxe wenigstens in gewissen Grenzen für verschiedene Polhöhen eingestellt werden konnte.

In der Fig. 998 ist ein alter äquatorealer Sektor von SISSON (1775), wie er auf der Mailänder Sternwarte (Brera)[1]) benutzt wurde, und in Fig. 999 ein Äquatoreal von REICHENBACH (1811) dargestellt, welches dieser Künstler neben anderen Instrumenten für die Sternwarte in Neapel gebaut hat.

Man unterscheidet eine Reihe besonderer Typen dieser Aufstellung, von denen besonders die sog. englische und die deutsche zu nennen sind, und an die sich einige andere Formen als Übergänge oder für bestimme Zwecke geeignet anschliessen.

2. Refraktoren mit englischer Aufstellung.

Die englische Aufstellung besteht darin, dass man die beiden Enden der Stundenaxe in Zapfen auslaufen lässt oder dass die ideelle Verbindungslinie zweier solcher Zapfen, die im Übrigen zwei gesonderte Theile der ganzen Einrichtung bilden können, die Stundenaxe darstellt. Diese beiden Zapfen lässt man auf getrennten Unterlagen, in besonderen Lagern laufen. Zwischen beiden Enden der Stundenaxe ist, an irgend einer Stelle die Deklinationsaxe angebracht und an dieser, gewöhnlich an deren Mitte wie beim Passageninstrument, das Fernrohr. Diese Art der Aufstellung ist wegen der getrennten Lage der Stundenaxenlager etwas umständlich; sie wurde, wie der Name sagt, meist in England zur Anwendung gebracht, in neuerer Zeit aber auch mehrfach bei photographischen Refraktoren benutzt. Ihr hauptsächlichster, wenn nicht gar ihr einziger Vorzug besteht darin, dass sie beim Übergang von östlichen zu westlichen Stundenwinkeln für keinen Werth von δ ein „Umlegen" des Instruments, d. h. keine Drehung der Deklinationsaxe um 180^0 nöthig macht, selbst wenn die Stundenwinkel bedeutende Werthe erreichen, was bei der später zu besprechenden „Deutschen Aufstellung", sobald die Deklination der Gestirne sich dem Betrage der geographischen Breite nähert, unbedingt nöthig wird.

Bei dem in Fig. 999 dargestellten Reichenbach'schen Äquatoreal[2]) ruht die Polaraxe, welche eine Länge von 133 cm hat, in zwei gänzlich getrennten, auf ein und denselben Grundpfeilern errichteten Lagern P und P′, von denen das nördliche zur Korrektur etwas verschiebbar ist. Nahe dem unteren südlichen Ende ist der mit genauer Theilung versehene Stundenkreis von 74 cm Durchmesser mit der Axe fest verbunden; derselbe ist mittelst zweier Verniers, die an einer mit dem Lager m verbundenen Alhidade A sitzen, bis auf 4 Sekunden ablesbar. Zum Zwecke roher Einstellung trägt dieser Kreis noch eine zweite gröbere Theilung. Zur Klemmung und Feinbewegung mittelst des Mikrometerwerkes M wird hier der Kreis selbst benutzt.

In etwa ein Drittel der Länge, vom Nordende an, ist die Axe durch ein

[1]) Das Instrument existirt heute noch, es ist genauer beschrieben und abgebildet in Effemeridi di Milano del 1778. Das Objektiv hat 4 Zoll Öffnung und eine Brennweite von 4 Fuss 8 Zoll engl.

[2]) C. Brioschi, Comentari astron. della specola di Napoli, Vol. I. S. 129.

rechteckiges Prisma P''. unterbrochen, welches die Büchse des Deklinationskreises und die ihr konaxiale des Fernrohrs aufnimmt; ähnlich wie das bei dem oben schon beschriebenen Vertikalkreise desselben Künstlers der Fall ist. Beide Axenkonen sind auf der Gegenseite durch Schraubenmuttern mit untergelegten Ringfedern gehalten. Der Deklinationskreis K' von gleichen Dimensionen wie der Stundenkreis ist auf einem Goldstreifen getheilt, und zwei Verniers v, v' gestatten ebenfalls eine Ablesung bis auf 4 Bogensekunden. Durch das doppelte Axensystem soll eine Repetition der Deklinationswinkelmessung ermöglicht werden, zu diesem Zwecke ist sowohl das Fernrohr mit Alhidadenarm am Kreise bei M', als auch bei dieser für sich an der Stundenaxe klemmbar. Das Fernrohr hat bei einer Öffnung von 8,3 cm eine Länge von 1,20 m und ist mit einem einfachen, beweglichen Mikrometerfaden in Deklination versehen, um Deklinationsdifferenzen gegen ein zugleich im Gesichtsfeld befindliches Gestirn ohne Hülfe des Kreises bestimmen zu können.

Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes geschieht durch die Lampe L, welche in cardan'scher Aufhängung ihr Licht durch eine in der Verlängerung der Deklinationsaxe angebrachte Öffnung in das Fernrohr sendet. Am Fernrohr entlang läuft eine Leiste l, auf der ein Niveau n befestigt ist; dieses soll in Verbindung mit den Kreisablesungen dazu dienen, die Fundamentalpunkte am Kreise zu bestimmen.

Bei der Länge der Stundenaxe und dem erheblichen Gewichte des Deklinationssystems ist es nöthig, dass erstere an geeigneter Stelle zur Vermeidung starker Durchbiegung unterstützt wird. Das hat REICHENBACH dadurch ausgeführt, dass er auf der gemeinschaftlichen Grundplatte eine Säule S aufstellte, in welcher eine zweite Stange läuft. Diese trägt am oberen Ende eine Art Gabel mit zwei Friktionsrollen, welche die Polaraxe in einer entsprechenden Rille führen und gegen diese durch ein Gegengewicht angedrückt werden, welches an dem längeren Arme eines zweiarmigen Hebels sitzt, auf dessen kürzerem Ende die innere Stange ruht.

Ein anderes Instrument, welches in der messenden Astronomie eine erwähnenswerthe Rolle gespielt hat und welches den hier zu besprechenden Typus sehr gut illustrirt, ist das von J. HERSCHEL und J. SOUTH gebrauchte Äquatoreal, von dem Fig. 1000 a u. b eine Darstellung giebt.

Die aus zwei die Form eines Viertel-Cylinders zeigenden Trägern 1 bestehende Polaraxe wird in Norden und Süden durch je einen Zapfen gebildet. Am südlichen Zapfen, welcher in einem korrigirbaren Lager 2 ruht, ist der Stundenkreis 3 befestigt, und ausserdem trägt der dort die beiden cylindrischen Theile verbindende Konus den Klemmarm 5, durch den die Fixirung und Feinbewegung vermittelt wird. Oberhalb der Mitte der beiden Träger sind die Lager 6 für die Zapfen der sehr starken, doppelkonischen Deklinationsaxe 7 angeschraubt. Die beiden Theile dieser Axe stehen an ihren Grundflächen mit einem cylindrischen Körper von geringer Höhe und grossen Grundflächen in Verbindung. Zwischen den beiden Grundflächen geht durch die Mitte der Axe das Fernrohr 9 und durchsetzt den Cylindermantel in zwei entsprechenden Öffnungen. Dadurch ist eine sehr feste Verbindung

zwischen Deklinationsaxe, Fernrohr und Deklinationskreis hergestellt[1]); die eine Grundfläche des Cylinders trägt an ihrer Peripherie die Theilung. Diese wird durch drei an den einen der Träger 1 aufgeschraubte Mikrometermikroskope m m abgelesen, und ein kleines daneben befindliches Fernrohr 10 dient zur rohen Einstellung. Die Lagerung des oberen Zapfens lässt die Fig. 1000 b deutlich erkennen. Die Entfernung der Polaraxenzapfen beträgt über 10 englische Fuss, und das Fernrohr besitzt bei einer Öffnung von $3^3/_4$ englischen

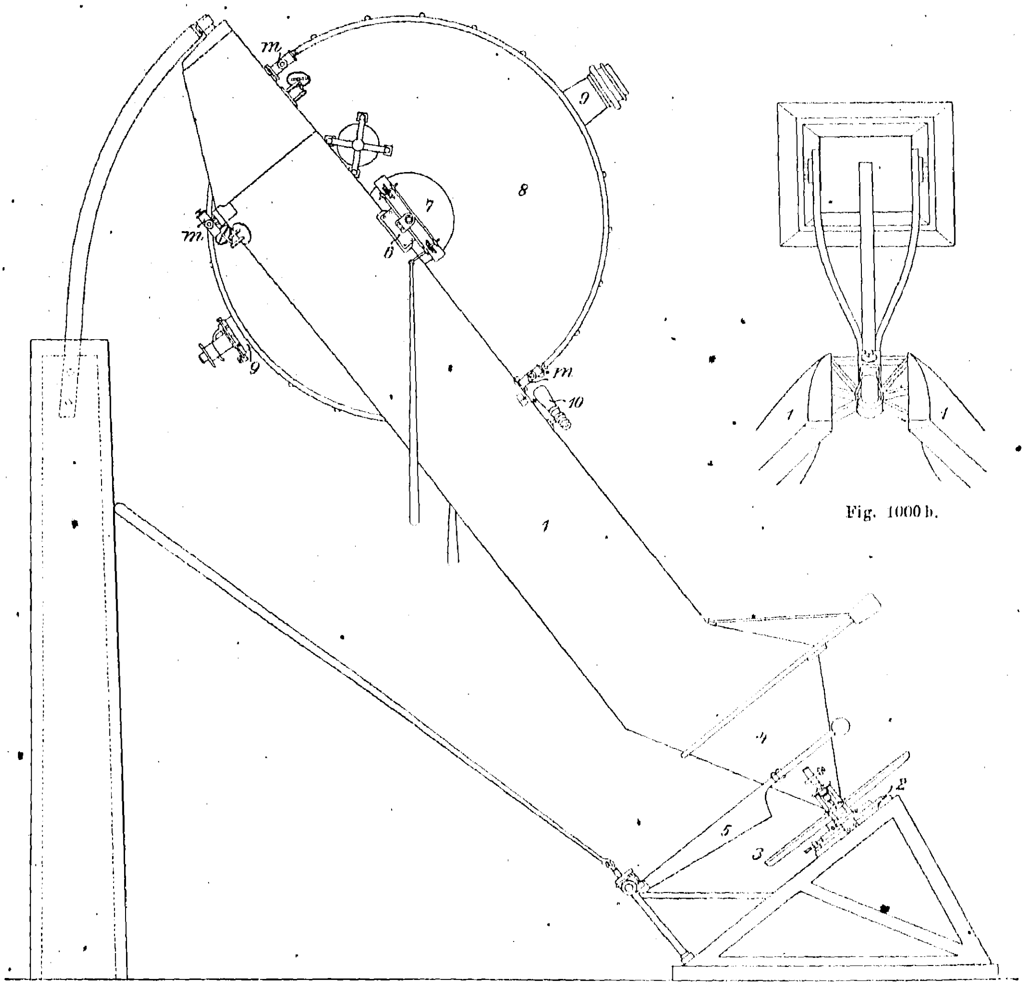


Fig. 1000 b.

Fig. 1000 a.
(Nach Prochel & South, Observations of double and triple Stars etc.' Ldn. 1825.)

Zoll eine Brennweite von etwa 5 Fuss. Das Material für die Polaraxen sowohl, als für die Kreise, besteht aus dünnen Eisenplatten, um das Gewicht des ganzen Instrumentes möglichst zu beschränken.

Die Montirung wurde von J. und E. Troughton, das Objektiv von Dollond hergestellt, das Instrument im Ganzen 1797 vollendet.

---

[1]) Man vergleiche dazu gewisse Konstruktionen der Meridiankreise.

Ein anderes, ebenfalls nach der englischen Methode montirtes Äquatoreal zeigt die Fig. 1001. Solche Instrumente wurden in den zwanziger und dreissiger Jahren mehrfach in der berühmten Werkstätte von GAMBEY in Paris für die Sternwarten von Paris, Brüssel u. s. w. ausgeführt. Der untere Theil der sehr langen Polaraxe ist auf einem isolirten, starken Pfeiler gelagert, während der obere Zapfen in einem Lager läuft, welches etwas korrigirbar auf einem starken Arme ruht, der seinerseits in sicherer Ver-

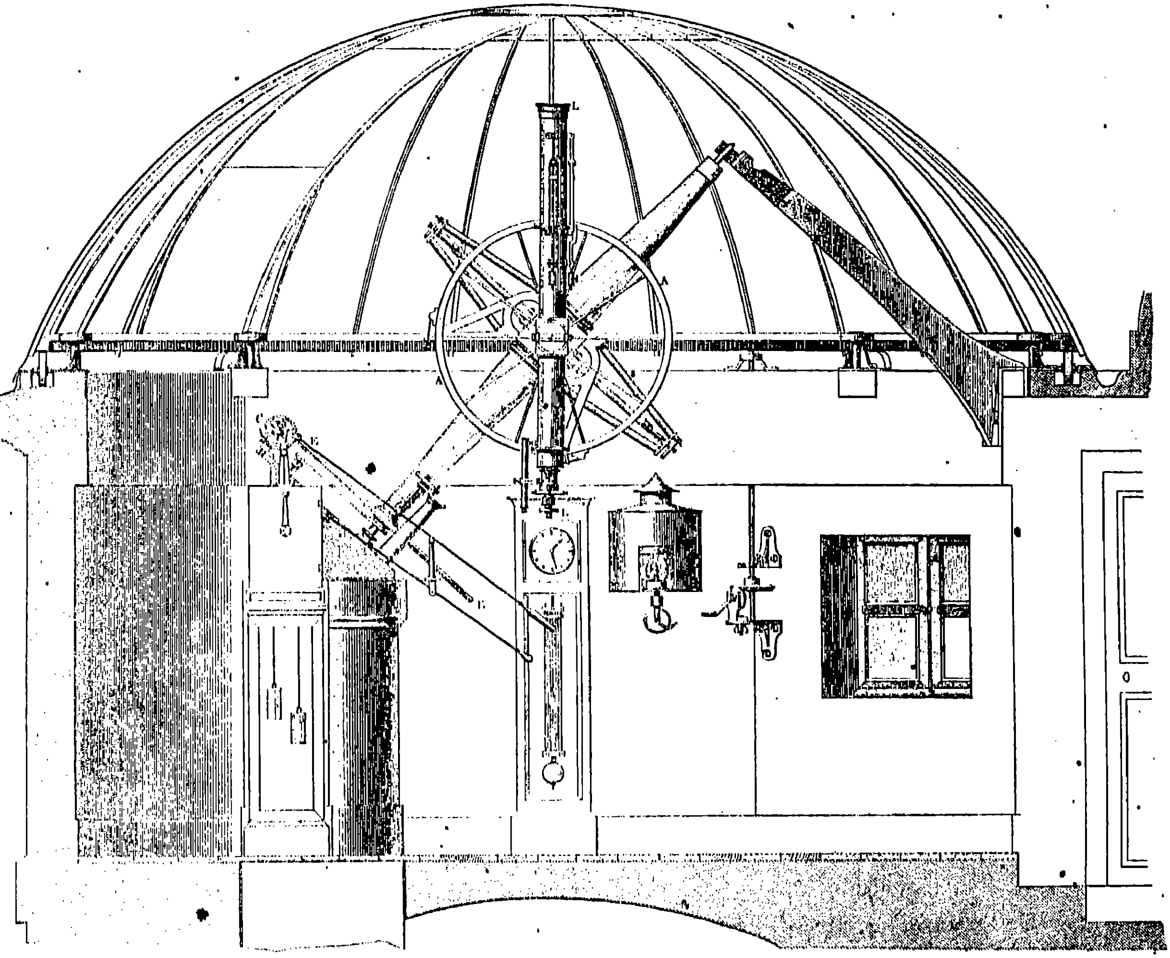


Fig. 1001.

bindung mit dem oberen Theile der Ringmauer der Kuppel steht. Nahe dem unteren Ende der Polaraxe ist der grosse Stundenkreis EE aufgesetzt, welcher durch zwei Mikroskope abgelesen werden kann und zugleich auf seinem Rande die Einkerbungen für den Eingriff einer Schraube ohne Ende hat. Das Uhrwerk C vermittelt die regelmässige Bewegung des Instruments. In der Mitte ist die Polaraxe zu einem Kubus umgestaltet, welcher die Büchse für die kurze Deklinationsaxe enthält. An dem einen Ende der letzteren ist das Fernrohr L befestigt und ebenso auch der dem Stundenkreis an Grösse

gleiche Deklinationskreis A A. Dieser ist aber auf seiner Stirnseite getheilt und durch zwei an besonderen Armen befestigte Mikroskope ablesbar. Da das Objektivende des mit dem Kreis durch zwei Ringe verbundenen Fernrohrs ziemlich weit über den betreffenden Ring hinausragt, ist an demselben, um eine Biegung zu vermeiden, ein doppeltes Reichenbach'sches Hebelsystem angebracht. Dasselbe hat seine Stützpunkte an dem genannten Ringe und greift mit den Hebelenden dicht hinter dem Objektive an.

Der Hauptvertreter dieser Instrumente ist aber gewiss das in Greenwich befindliche in seinen mechanischen Theilen von Ransomes and Sims gebaute grosse Äquatoreal, dessen Linsen von Merz in München gefertigt wurden. Das Instrument ist Ende der sechziger Jahre in Benutzung genommen worden und findet sich genau beschrieben und abgebildet in den Greenwich Observations von 1868.[1])

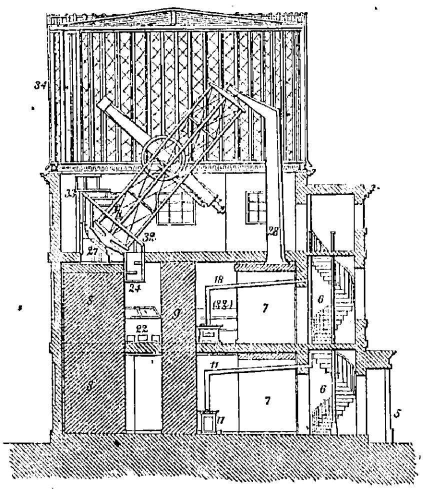


Fig. 1002.

Die Fig. 1002 u. 1003—1011 stellen dieses grosse Äquatoreal in Gesammtansicht, sowie die wichtigeren Konstruktionstheile einzeln dar. Fig. 1002 giebt einen Querschnitt des ganzen Gebäudes und lässt die Anordnung der Pfeiler und die Aufstellung des ganzen Instrumentes auf diesen besonders gut erkennen.

Aus der grossen Zahl der Detailfiguren des Originals wurden die hier gegebenen ausgewählt, weil sie den Bau mit genügender Deutlichkeit zu erläutern gestatten. Die Bezeichnungen sind in allen Figuren nach Möglichkeit einheitlich gewählt.

Auf dem Grunde des Gebäudes erheben sich, die einzelnen Etagen desselben frei durchsetzend, drei Pfeiler 7, 8 und 9. Der zweite trägt auf seiner Oberfläche das Lager für den südlichen Zapfen des Instrumentes. Pfeiler 7 besteht eigentlich aus zwei Theilen, die in mittlerer Höhe und am oberen Ende durch je eine starke Steinplatte mit einander verbunden sind und auf ihrer Oberfläche die beiden eisernen Ständer 28 für das Lager des oberen (nördl.) Zapfens des Instrumentes aufnehmen. Der Pfeiler 9 dient zur Unterstützung des Fussbodens und trägt in der mittleren Etage zwei Uhren. Auf dem Pfeiler 8 ruht der eiserne Lagerbock 27, welcher aus einer Grundplatte und einem Aufsatze mit geneigter Oberfläche besteht. Die Grundplatte ist unten hohl gearbeitet und mit Cement ausgegossen; wodurch sie äusserst fest mit dem Pfeiler verbunden ist. Auf der schiefen Fläche sind die eigentlichen Lager-

[1]) Eine deutsche Übersetzung dieser Beschreibung mit den erforderlichen Abbildungen ist im Repertorium d. Exp.-Physik von Ph. Carl, Bd. VII, gegeben. Das schon früher nach ähnlichem System in Greenwich aufgestellte, aber weit kleinere sogenannte Shuckburgh-Äquatoreal ist von Sir G. Shuckburgh selbst beschrieben in Phil. Trans., 1793.

theile für den unteren Zapfen 11, Fig. 1003 u. 1004, aufgeschraubt. Dieser liegt nicht direkt an der Wandung der Büchse an, sondern wird durch die beiden Friktionsräder 13, 13 gestützt, während er in Richtung seiner Axe auf dem

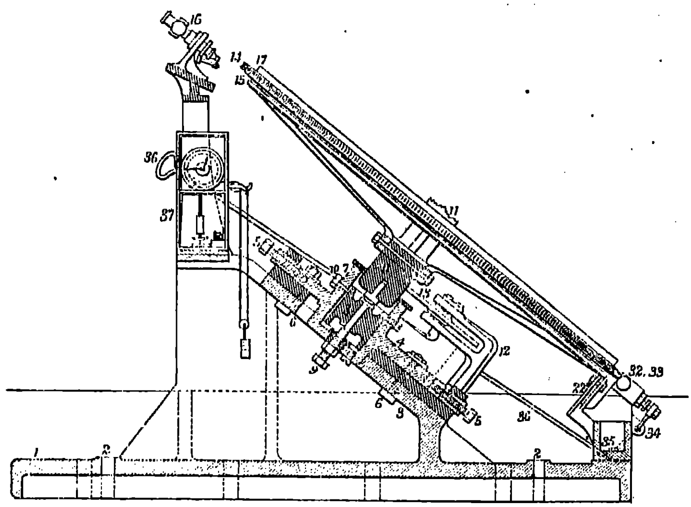


Fig. 1003.

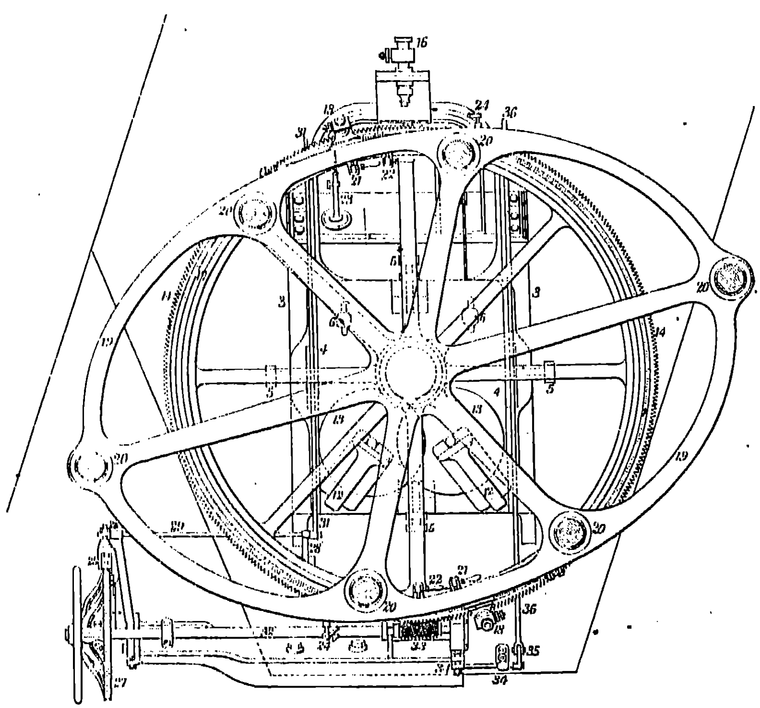


Fig. 1004.

in der Büchse 7 beweglichen Kolben 8 mit seinem kugeligen Stahlende aufruht. Der Kolben kann durch die Schraube 9 justirt werden, ebenso das ganze Büchsenstück mit Friktionsrollen durch die Schrauben bei 5, während

die Schrauben 6 das ganze Lagertheil nach erfolgter Korrektur gegen die Grundplatte festklemmen. Der Zapfen ist mit dem unteren Theile des Gesammtrahmenwerkes, welches die Lager für das Fernrohr aufnimmt, aus einem Stück gegossen. Der Stundenkreis trägt ausser zwei Theilungen bei 15 und 17, Fig. 1003, am Rande den Zahnkranz 14, in welchen die Schraube ohne Ende 32, 33 eingreift, welche die Bewegung des Triebwerkes übermittelt. Diese Schraube kann durch das Gestänge 34, 35 u. 36 ein- und ausgeschaltet werden. Zunächst folgt auf den Stundenkreis die untere Rahmenplatte 19, und auf dieser ruht sodann das Rahmenwerk 20, dessen Anordnung aus der Hauptfigur 1008 genügend ersehen werden kann. Die oberen Enden der der Polaraxe parallelen 6 starken Stangen werden wieder durch eine ähnliche durchbrochene Platte 46, Fig. 1005, vereinigt, welche mit dem oberen (nördl.) Zapfen 44 aus einem Stück gegossen ist. Die Anordnung dieses Lagers zeigt speciell die Fig. 1005. Die oberen Enden der eisernen Ständer 41 (resp. 28 in Fig. 1002) halten das offene Lager 42, in dem der Zapfen 44 seine Führung findet; direkt unterstützt, wird er aber auch durch die beiden Friktionsrollen 43, 43. Ausserdem nimmt dieser Theil noch die Kontaktfedern 49 auf, welche zur Zuleitung von galvanischen Strömen, zur Regulirung einer Uhr am Okularende des Fernrohrs, sowie zur Registrirung der Beobachtungen dienen. Dieser Zapfen ist durchbohrt, und durch ihn tritt die Gasleitung 48 zur Erleuchtung des Deklinationskreises in die beweglichen Theile des Instruments ein.

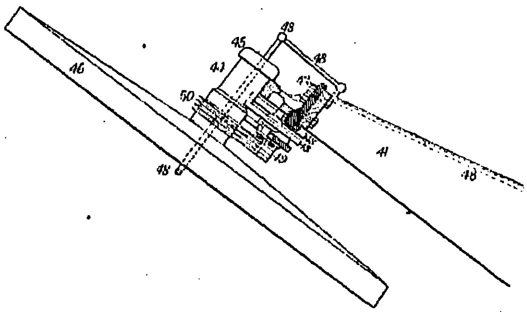


Fig. 1005.

Die nahe 10 cm starken und über 6 m langen Eisenrohre 20 sind in der aus Fig. 1008 ersichtlichen Weise mit den beiden Endrahmen verschraubt und untereinander noch durch ein vielfältiges System von Streben verstärkt. Zwischen diesen Rohren sind etwa in der Mitte die Lager für die Deklinationsaxe angebracht. Besondere Streben halten die Lager, welche so orientirt sind, dass die Deklinationsaxe parallel der Richtung der grossen Axen der elliptischen Endrahmen zu liegen kommt, so dass derselben eine bedeudende Länge gegeben werden konnte.

In Fig. 1006 u. 1007 ist das Fernrohr mit Axe und Zubehör für sich dargestellt. Die schraffirten Kreise 3 und 4 sind die Querschnitte der Eisenrohre (20 in Fig. 1004), aus deren Stellung zum Fernrohr dessen Lagerung deutlich hervorgeht. Die Deklinationsaxe besteht aus den zwei stark konischen Theilen 20, welche zwischen sich einen viereckigen Kasten 21 aufnehmen, in dem das Fernrohr selbst gelagert ist.

Die anderen Enden der Axenkonen laufen in Kugeln aus, die an Stelle der sonst gebräuchlichen Axenzapfen treten. Die Lagerung der Fernrohraxe ausserhalb der durch die grossen Axen der Endrahmen gehenden Ebene

hat zur Folge, da der obere Zapfenrahmen in seinem mittleren Theile unterbrochen ist, dass die Absehenslinie des Fernrohrs nicht nur direkt nach dem Pol, sondern sogar noch um einige Grade darüber hinaus gerichtet werden kann; eine Stellung, welche bei ähnlichen Montirungen meist nicht zu erreichen ist. Neben dem Gehäuse für das Fernrohr ist auf der einen Seite

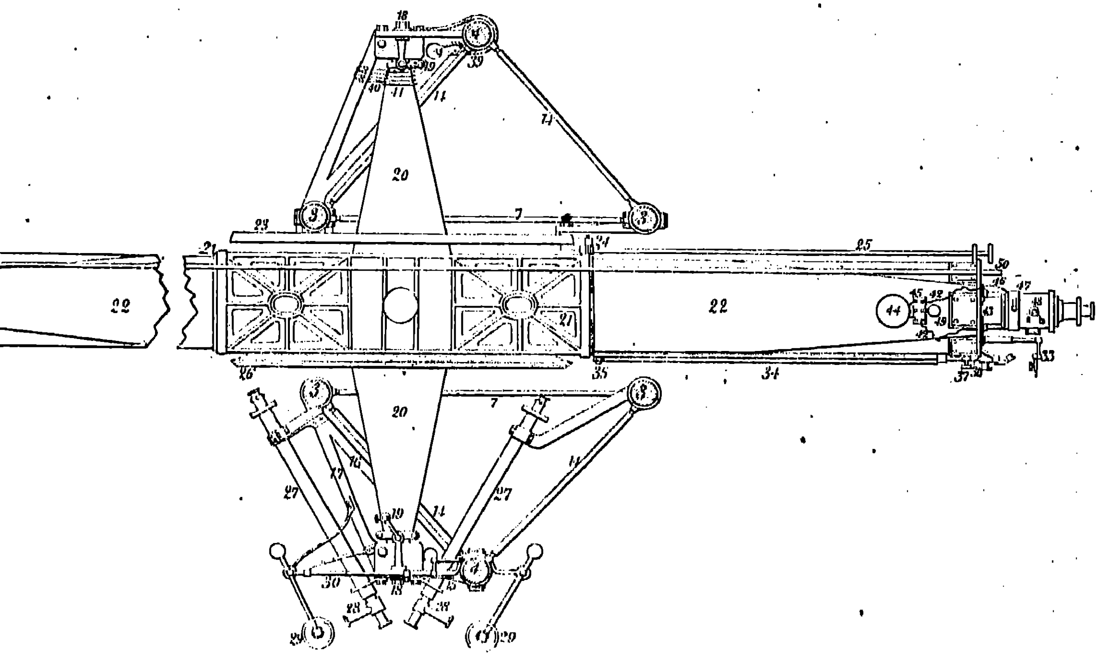


Fig. 1006.

direkt der Deklinationskreis 26 angeschraubt, er kann durch die beiden Mikroskope 27, 27 abgelesen werden.

Auf der anderen Seite des Fernrohrgehäuses ist der Klemmkreis 23 aufgesetzt, durch welchen die Fixirung und Feinbewegung des Fernrohrs erfolgen kann. Die Klemmung bei 34 und die Feinbewegung können durch die Gestänge bei 25 vom Okular aus bewirkt werden.

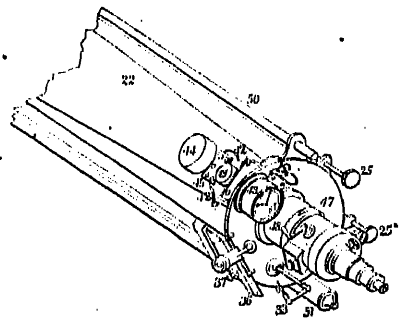


Fig. 1007.

An demselben Axentheil sind die elektrischen Kontakte 40 und 41, welche die Stromführung zum Okularende des Fernrohrs vermitteln, angebracht. Das Rohr des Fernrohrs besteht aus 4 Mahagonibrettern, die an den Enden in je ein Achteck zusammenlaufen, an welches dann die Messingfassungen für Objektiv und Okular angeschraubt sind.

Bei 29, 29 sind Gaslampen, welche die Trommeln der Ablesemikroskope erleuchten.

Die Stangen 50 führen an dem Fernrohr entlang und sollen mit Hülfe

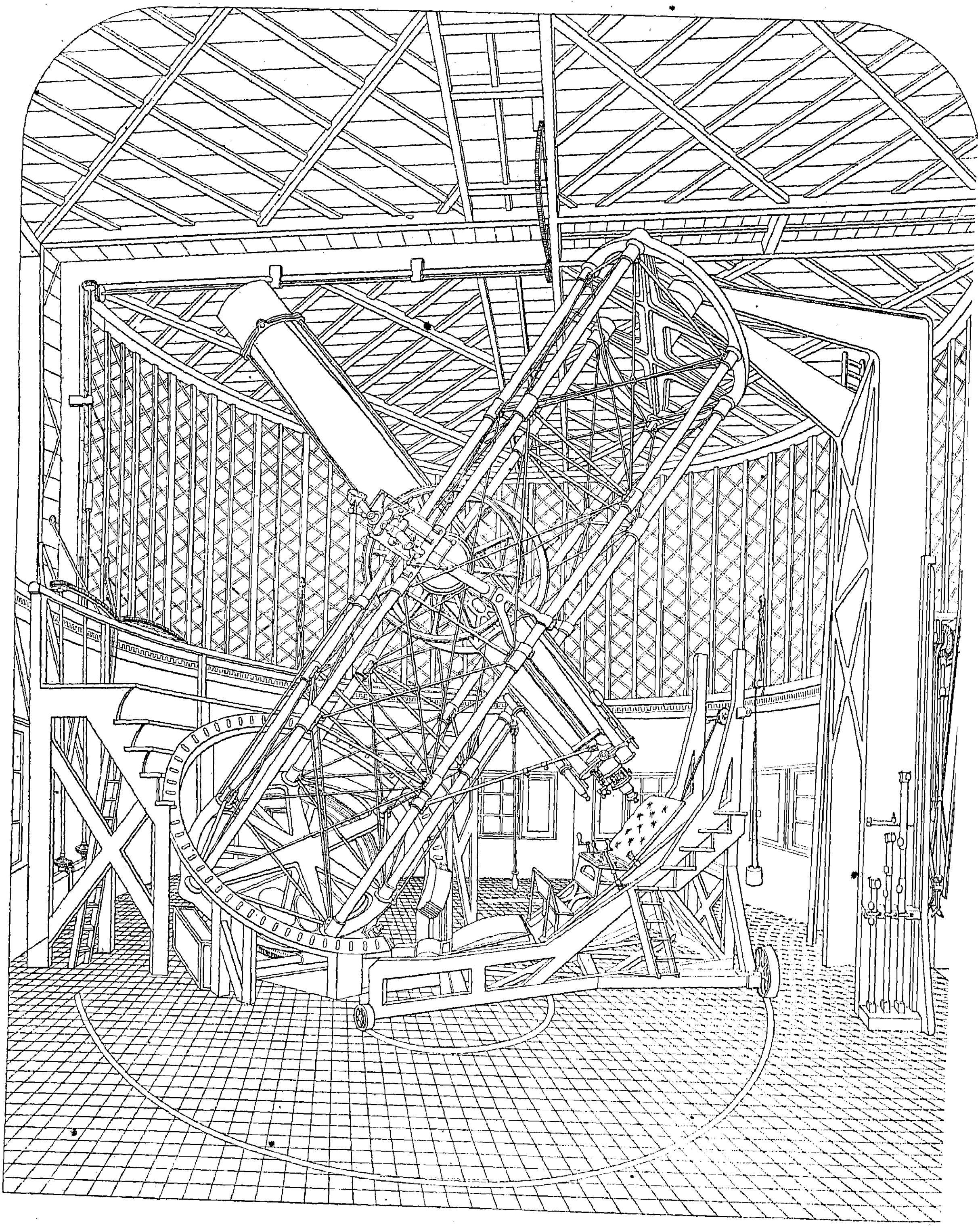


Fig. 1008.

der Schraube n an ihrem Ende zur Centrirung des Objektivs dienen. Am Okulartheil des Fernrohrs ist ausser dem Sucher bei 51 noch eine Uhr bei 43 angefügt, welche auf elektrischem Wege regulirt wird.

Man sieht aus der vorstehenden Beschreibung, wie ausserordentlich eingehend Airy bei dem Bau dieses interessanten Instrumentes jede Einzelheit überdacht hat und wie sinnreich die ganze Einrichtung ausgeführt ist. Das gilt nicht nur von den komplicirten mechanischen Theilen der Montirung selbst, sondern auch von dem Uhrwerke zu dessen parallaktischer Bewegung und besonders von dem dasselbe regulirenden Mechanismus. Dieser ist in Fig. 1009 u. 1010 besonders dargestellt.

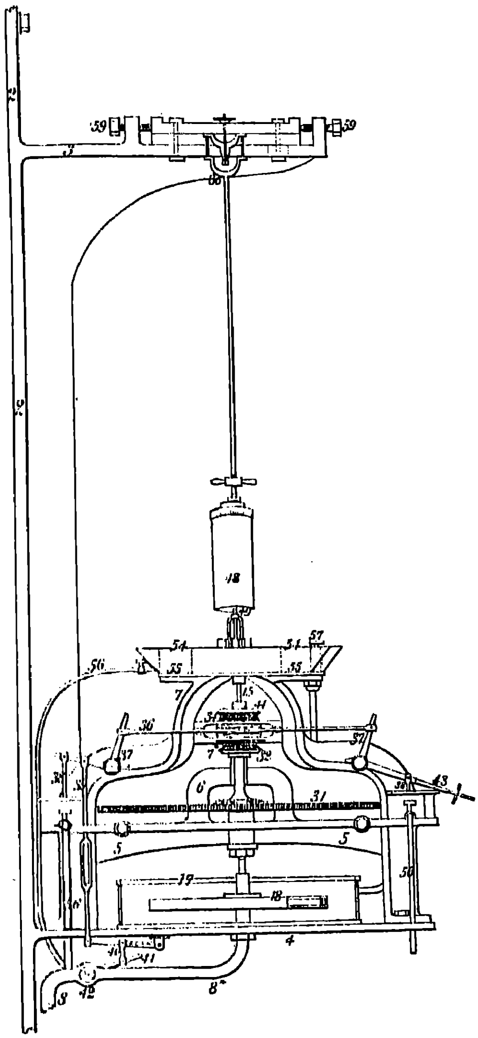


Fig. 1009.

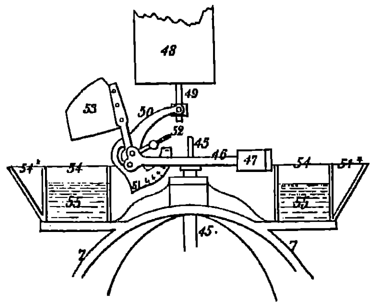


Fig. 1010.

An dem südlichen Pfeiler ist der regulirende Theil dieses interessanten durch Wasserkraft in Thätigkeit gesetzten Uhrwerkes auf einer besonderen eisernen Konsole 2 aufgesetzt. Derselbe besteht zunächst aus dem Pendel 48 und den dessen Umdrehungen regelnden Einrichtungen. Diese bestehen aus einem ringförmigen Wassergefäss 54 und einem eigenthümlichen Hebelwerk. Ein Arm dieses Hebelwerkes trägt eine kleine Schaufel 53, die je nach der Umdrehungsgeschwindigkeit des Pendels mehr oder weniger tief in die Wasserrinne eintaucht und so durch den Widerstand im Wasser die Schwingungen des konischen Pendels gleichförmig erhält. Die Wirkung der Triebkraft, welche sowohl durch verschiedenen Wasserdruck, als durch verschiedenen Widerstand in der Instrumentalbewegung Veränderungen erleiden kann, wird durch besondere Einrichtungen gleich erhalten. Dieselben sind in der Fig. 1009 von der Seite gesehen dargestellt und bestehen, abgesehen von den Zuführungsröhren des Wassers, zunächst aus der Reaktionsmaschine 18 und der mit ihr in Verbindung stehen-

den Axe, welche an ihrem oberen Ende ein Zahnrad trägt. Dieses greift in das grosse Zahnrad 31 ein, welches 440 Zähne hat und sich in 2 Sekunden einmal herum dreht. Mit diesem Rade auf derselben Axe sitzt das konische Rad 32, welches in ein senkrecht dazu stehendes ähnliches konisches Rad 34 eingreift. Die Axe des letzteren ist um die Verlängerung der Axe 45 leicht beweglich, während das konische Rad 34 oben in ein dem Rade 32 gleiches 44 eingreift, dessen Axe das Pendel durch Vermittlung des oben erwähnten Hebelwerkes in Bewegung versetzt. Für den Fall, dass sich der Druck in der Reaktionsmaschine (d. h. die Ausflussgeschwindigkeit aus dem Spiralrohr) ändert, wird die Axe 45 auch mit veränderlicher Geschwindigkeit rotiren. Dadurch wird das senkrechte Rad 34 etwas mit herum gedreht werden, was zur Folge hat, dass die mit dem anderen Ende seiner Axe bei 35 beweglich verbundene Stange 36, Fig. 1011, hin und her geführt wird. Mit den Enden dieser Stange sind wieder die kurzen Arme zweier Winkelhebel 37 in Verbindung gesetzt, an deren längeren Hebelarmen die Gestänge 38 für die Hähne der Wasserzuflussrohre in geeigneten Entfernungen angebracht sind. Auf diese Weise wird eine automatische Regulirung des Wasserdruckes in der Reaktionsmaschine hervorgebracht und zugleich durch die Einwirkung des konischen Rades 44 auch die Pendelbewegung regulirend beeinflusst. Durch Vorstehendes wird die Wirkungsweise dieses interessanten Triebwerkes verständlich geworden sein, während wegen der vielfachen Details auf das Original resp. auf die Mittheilung Airy's in Carl's Repertorium der Exp.-Physik Bd. VII verwiesen werden muss.[1])

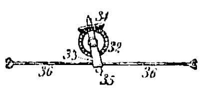


Fig. 1011.

Als ein modernes Beispiel einer englischen Montirung mag hier noch diejenige des Pariser photographischen Refraktors dienen, welcher in Fig. 639 bereits zur Darstellung gelangte. Wesentliche Eigenthümlichkeiten weist die Aufstellung dieses Intrumentes nicht auf, sodass hier von einer weiteren Beschreibung abgesehen werden kann, zumal die Figur alle Theile gut erkennen lässt.

---

[1]) Die eben beschriebene Montirung trägt gegenwärtig das neue Grubb'sche Fernrohr, welches bei 28 Zoll Öffnung eine Brennweite von 28 Fuss hat. Das Objektiv dieses eigenthümlichen Instruments ist sowohl für visuelle Beobachtungen eingerichtet, als auch für die photographisch wirksamen Strahlen zu benutzen. Nach einem Plane von S. G. Stockes ist die Crownglaslinse so geschliffen, dass durch ihre Umkehrung und die Änderung ihrer Entfernung von der Flintglaslinse die verschiedene Achromasie herbeigeführt werden kann. Die Entfernungsänderung der beiden Linsen beträgt etwa $3^1/_2$ Zoll und die Brennweite wird für die photographischen Strahlen um nahe 5 Fuss verkürzt. Die Radien der vier Linsenflächen sind in der Anordnung für visuelle Beobachtungen:

$r_1 = 146$ Zoll, $r_2 = 134$ „ (Crownglas).
$r_3 = -138$ „, $r_4 = 1000$ „ (Flintglas).

Das Rohr des neuen Teleskops ist ganz von Stahl, während die Mikrometertheile des alten Instruments benutzt sind. Das Okularrohr kann erheblich verschoben werden, um das Fernrohr durch die alte Montirung hindurch bewegen zu können.

In Mailand hat vor einigen Jahren A. SALMOIRAGHI ebenfalls für Catania einen photographischen Refraktor nach englischem System montirt, den ich wegen seiner theilweise recht eigenthümlichen Form in Fig. 1012

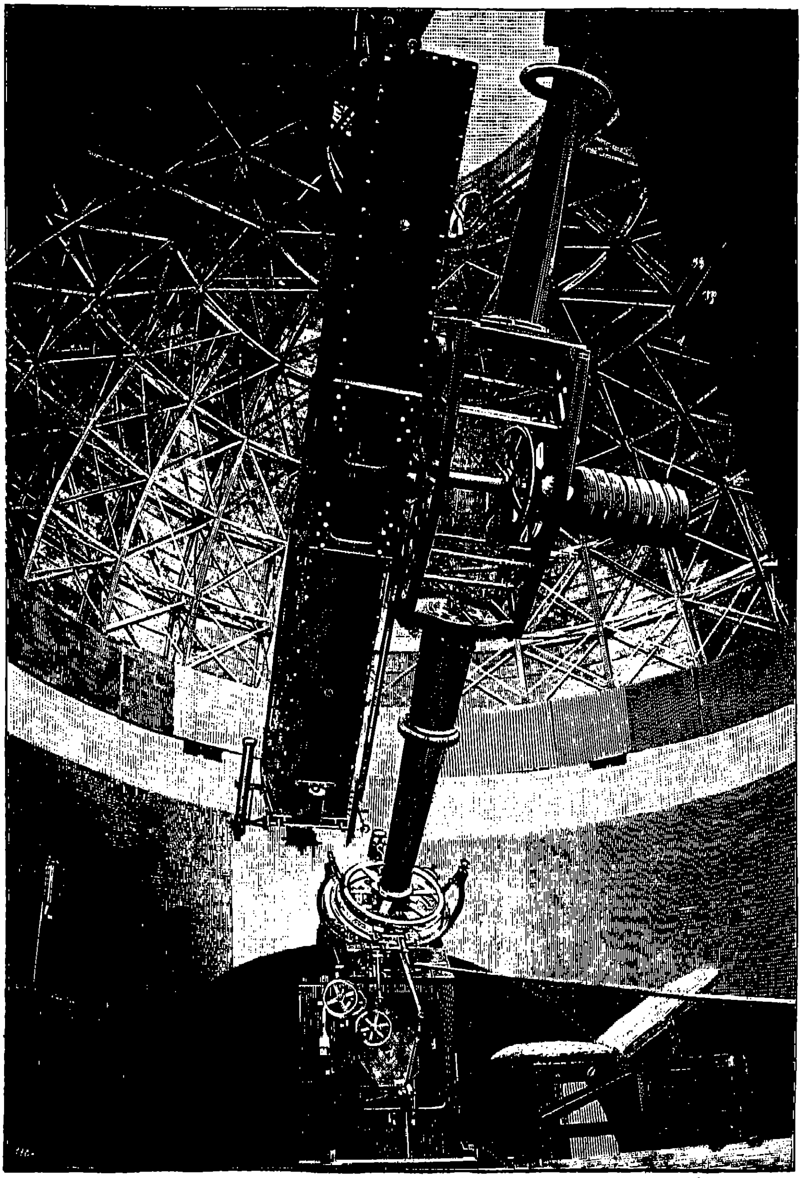


Fig. 1012.

noch zur Darstellung bringe. Über die Zweckmässigkeit der getroffenen Anordnung möchte ich ein Urtheil nicht aussprechen, auf alle Fälle aber erscheint mir die starke Belastung der Deklinationsaxe bei den aus der Figur hervorgehenden Dimensionen derselben sehr bedenklich.

3. Refraktoren mit deutscher Aufstellung.

Denkt man sich die Vertikalaxe eines gewöhnlichen Universalinstrumentes in der Ebene des Meridians so weit geneigt, dass dieselbe statt vertikal zu stehen, mit der Normalen am Beobachtungsort einen Winkel einschliesst, der gleich dem Komplement der geographischen Breite ist, so erhält man ein äquatoreal montirtes Instrument und zwar ein solches, bei welchem die Polaraxe nur an einer Seite gestützt und geführt wird. Die nunmehr zur Deklinationsaxe gewordene Horizontalaxe mit dem von ihr getragenen Fernrohr wird sich mit den Lagerständern ganz oberhalb der Polaraxe befinden, und man wird, falls es sonst die Konstruktion des Instrumentes gestattet (excentrisches Fernrohr), alle überhaupt sichtbaren Stellen des Himmels in zwei verschiedene Lagen des Fernrohrs in dessen Absehenslinie bringen können.

Es gelang bald, diese anfangs etwas schwerfällige Konstruktion der Äquatoreale mit solcher „deutschen“ Aufstellung, namentlich für den Transport viel zweckmässiger und einfacher zu bauen, als es bei dem zweier festen Führungen der Polaraxe bedürfenden, englischen Aufstellungssystem möglich war. Es kann wohl nicht gesagt werden, dass die eine oder die andere Aufstellungsart die auf alle Fälle bessere ist. Die zuerst beschriebene dürfte wohl die ältere sein, aber es ist gewiss, dass sie nicht zu der Vollkommenheit gelangt ist, wie die jetzt an typischen Beispielen näher zu erläuternde, deren ausserordentliches Übergewicht wir namentlich den genialen Leistungen FRAUNHOFERS zu verdanken haben. Es mag daher hier nur ein einziges Exemplar aus der Zeit vor FRAUNHOFER zur Erläuterung des oben Gesagten zur Darstellung kommen, nämlich ein Äquatoreal von SHORT,[1]) welches dieser im Jahre 1749 in den Philos. Transact. beschrieben hat. Dieses Instrument war anfänglich mit einem Gregorischen Fernrohre versehen. Auf einem hölzernen Stativ A, A, Fig. 1013, ist zunächst ein von Grad zu Grad getheilter Horizontalkreis C angebracht, auf diesem ruht die Platte D, welche sich um eine vertikale Axe dreht, darauf stehen zwei Ständer in Form von Quadranten G, G senkrecht und tragen eine entsprechende Theilung. In ihrem Centrum nehmen sie die Lager für eine Horizontalaxe auf. Die letztere wird gebildet durch zwei an einer Kreisscheibe H befindliche Zapfen. Dieser Kreis kann durch besondere Klemme und Feinbewegung bei I so gestellt werden, dass seine Ebene der Äquatorebene parallel resp. die Normale dazu nach dem Pol gerichtet ist. Die beiden Gewichte R, R balanciren die auf dem Äquatorealkreis aufgesetzten Theile, welche aus zwei weiteren Ständern M und N als Lager-

---

[1]) Vor Short hatte sich schon Henry Hindley einen ähnlichen Apparat gebaut, und später haben Nairna, Ramsden und Dollond äquatoreal montirte Instrumente hergestellt; Ramsden nahm sogar 1775 ein Patent auf die von ihm gewählte Form. Troughton baute ein Äquatoreal 1788 für S. H. Magellan, während 1785 Ramsden das unter dem Namen des Coimbra-Äquatoreals bekannte ausführte, welches später in den Besitz von G. Shuckburgh überging und von diesem 1811 dem Greenwicher Observatorium geschenkt wurde. Dieses Instrument ist in den Phlilos. Transact. 1793 ausführlich beschrieben; es gehört aber seiner Aufstellung nach zu denen „englischer“ Montirung.

träger für die Fernrohraxe und aus dem mit einem den Deklinationskreis vertretenden getheilten Halbkreis O verbundenen Fernrohre mit Sucher bestehen.

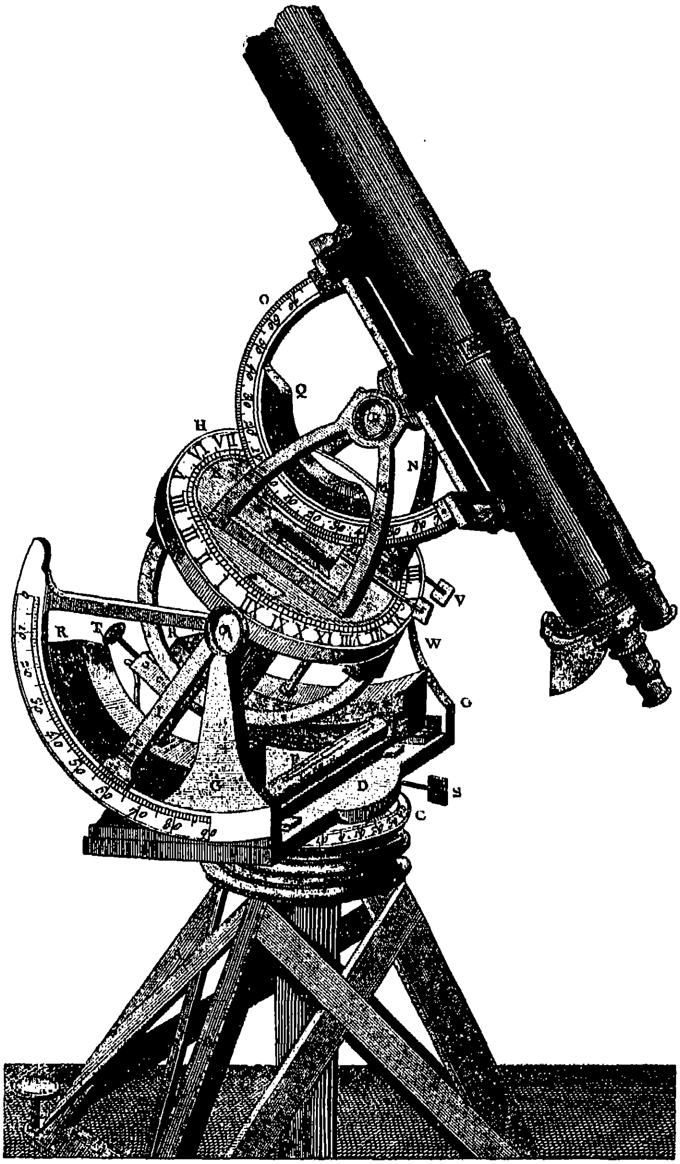


Fig. 1013.

Am Okularende des Fernrohres befindet sich noch ein kleiner Kreis L, welcher dazu diente, die Wirkung der Refraktion bei der Einstellung des Instrumentes zu berücksichtigen. Dieser Kreis ist in halbe Minuten eingetheilt und so eingerichtet, dass vermittelst einer Libelle immer noch die Gesichtslinie des Fernrohrs um den Betrag der Refraktion geneigt werden kann;

dabei ist die Eintheilung so getroffen, dass für eine Höhe von 16° eine Neigung von 3′ 8″ herauskommt.[1])

A. Die älteren Münchner Instrumente.

a. Der Dorpater Refraktor.

In ein ganz neues Stadium der Entwicklung trat der Bau der Äquatoreale, wie erwähnt, durch die Konstruktion, welche FRAUNHOFER bei dem in den zwanziger Jahren erbauten Refraktor für die Dorpater Sternwarte einführte. Wegen des vorbildlichen Aufbaues dieses Instruments soll hier dasselbe nach den von W. STRUVE gegebenen Daten etwas ausführlicher beschrieben werden.[2])

Von dem Instrument wurde kurz nach seiner Vollendung von FRAUNHOFER selbst eine Beschreibung am 10. Juli 1824 in der Münchener Akademie gegeben. Am 10. Nov. langte der Refraktor in Dorpat an, und am 15. Nov. war er von Struve aufgestellt, der sich kurz darauf in den Astron. Nachr. Bd. 4 S. 37 und 49 im höchsten Grade lobend über die unerwartet günstigen Leistungen desselben ausspricht.

Die Fig. 1014 giebt eine Ansicht des Refraktors, sie lässt die konstruktiven Einzelheiten gut erkennen.[3])

Auf einem aus sehr starken Balken bestehenden Stative a b c d e f ist das eigentliche Instrument montirt. Die beiden sich kreuzenden Grundbalken werden von je 4 starken Schrauben c durchsetzt, vermittelst welcher das Stativ auf seiner Unterlage aufruht und in seiner Stellung korrigirt werden kann. Der der Weltaxe parallele Balken f nimmt die Lagerplatte g für die Polaraxe l auf. Mit derselben aus einem Stück gegossen sind die Lagerböcke h h, in welchen die Polaraxe l ruht. Die Lager werden oben durch zwei aufzuschraubende Deckel geschlossen. Ausserdem befindet sich am

---

[1]) Auch an einigen neuen Äquatorealen hat man ähnliche Einrichtungen angebracht, welche dazu dienen sollen, für jede Einstellung nach Stundenwinkel und Deklination zugleich Höhe und parallaktischen Winkel ablesen zu können.

[2]) W. Struve, Beschreibung des auf der Sternwarte zu Dorpat befindlichen grossen Refraktors von Fraunhofer, Dorpat 1825.

[3]) Die Einrichtungen, welche Fraunhofer seinen kleinen Heliometern, von denen auf S. 557 das Göttinger Exemplar abgebildet ist, bezüglich der Axenführung gab, ist aus der Fig. 562, wenn auch im kleinen Maassstabe, zu erkennen. Er äquilibrirte die Stundenaxe durch einen dieselbe am oberen Ende umfassenden Ring mit Rollen und zwei in diesen Ring eingreifende Hebel mit Gegengewichten am unteren Ende. Die in einer langen Büchse laufende Deklinationsaxe wurde dicht neben der Wiege des Fernrohrs ebenfalls von einem solchen Ring umspannt, wie er bei dem Pulkowaer Refraktor und Heliometer (S. 558) zu sehen ist; für das vom Fernrohr abgewendete Axenlager brachte er aber noch eine besondere Entlastung durch zwei kleine Hebelsysteme an, die in der Fig. 562 dicht über und unter der linken Seite der Deklinationsaxe zu erkennen sind. Überhaupt giebt die Durchführung der Äquilibrirungseinrichtung an diesen kleinen, parallaktischen Stativen ein Zeugniss von dem bewunderungswürdigen Scharfsinn, mit dem in dem Münchener Institut schon zu damaliger Zeit diese Einzelheiten ausgeführt worden sind.

Von genau gleichen Dimensionen, in der früheren äquatorealen Montirung mit dem Königsberger Heliometer übereinstimmend, ist der Refraktor der Berliner Sternwarte. Beide Objektive wurden noch von Fraunhofer selbst zu gleicher Zeit hergestellt. Der Berliner Refraktor langte dort im März 1828 an, wurde aber erst 1839 aufgestellt.

unteren Theile das Widerlager i, auf welchem das untere Ende der Axe aufliegt, und dort nicht unmittelbar gegen das Messing, sondern gegen einen stählernen Keil k, Fig. 1015, drückt, dessen Oberfläche senkrecht zur Axe steht.

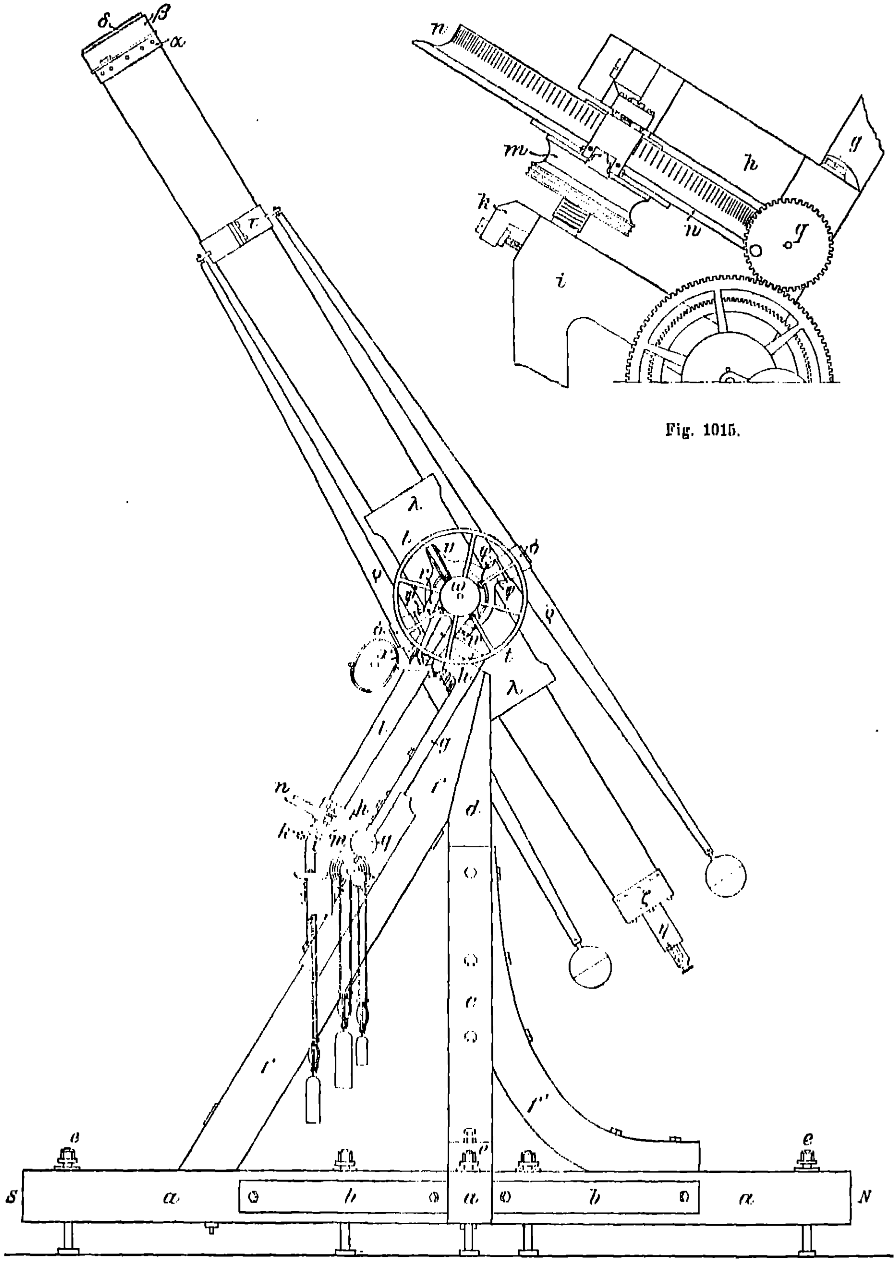


Fig. 1015.

Fig. 1014.

Die untere Fläche macht mit der oberen einen Winkel von 8°. Dieser Keil wird vermittelst einer Schraube verschoben und gestattet so, die Stundenaxe l etwas zu heben. Diese ist 39 Zoll lang und endet oben in eine Scheibe von $1^1/_3$ Zoll Dicke und 8 Zoll Durchmesser. Die Axe selbst ist konisch und hat

am oberen Lager 3 Zoll 5 Linien Durchmesser, am unteren 2 Zoll $5^1/_2$ Linien. Unterhalb des unteren Lagers ist auf ein Sechseck der Stundenkreis n aufgesetzt und wird daselbst durch eine starke Mutter m gehalten. Die Fläche, mit welcher die Axe auf dem Keil k aufruht, ist konvex gestaltet. Die Theilung des Stundenkreises giebt noch unmittelbar eine Zeitminute an und kann durch zwei Verniers abgelesen werden. In die Peripherie des Stundenkreises sind die Kerben für den Eingriff der Schraube ohne Ende q eingeschnitten, so dass unmittelbar durch den Stundenkreis die Uhrbewegung auf das Instrument übertragen wird. Die Schraube q wird durch eine Feder an den Stundenkreis angedrückt, lässt sich aber durch einen Hebel ausschalten, so dass das Instrument auch frei bewegt werden kann.

Am oberen Ende sitzt durch 10 Schrauben befestigt, die schwere, $31^1/_2$ Zoll lange Büchse r, in welcher die Deklinationsaxe an zwei Stellen geführt wird. An dem einen Ende dieser Axe ist an eine Scheibe das Fernrohr angeschraubt, auf das andere Ende ist der Deklinationskreis t aufgesteckt und wird durch eine Mutter gehalten. Dieser Kreis hat bei 20 Zoll Durchmesser nur 7 Speichen, während an Stelle der 8. die grosse, eiserne Stange v für das Gegengewicht des Fernrohrs durch den Kreis hindurchgeht. Ein Arm w mit Klemme und Mikrometerwerk, welcher zugleich den Vernier x trägt, ist mit dem Ende der Büchse fest verbunden. Ein leichteres Gegengewicht sitzt an dem Ende der Deklinationsaxe. Das Fernrohr hat 13 Fuss 7 Zoll Länge; es ist von Holz und hat am Objektivende 10 Zoll und am Okularende $7^3/_4$ Zoll Durchmesser, während seine Dicke 7 Linien beträgt. Die Enden sind mit Messingringen montirt.[1])

Die messingene Fassung am Objektivende besteht aus 3 Theilen. Der erste Theil α ist ein Ring, der mit 10 Schrauben an das Holz fest geschraubt ist. Der zweite Ring β ist durch 9 Schrauben, je 2 Zug- und eine Druckschraube in 120° Abstand von einander mit dem Ringe α verbunden, dadurch kann der dritte Theil, die eigentliche Fassung des Objektivs δ, so korrigirt werden, dass die optische Axe des Objektivs genau durch die Mitte des Okulars geht. Im Übrigen sind schon bei der Fassung des Objektivs die früher beschriebenen Vorsichtsmaassregeln genau befolgt.[2]) Der Okularansatz besteht ebenfalls aus einem Messingring ζ, welcher vorne durch eine starke Platte abgeschlossen ist, auf welchem das Rohr η für den Okularauszug durch Zug- und Druckschrauben gehalten wird, um auch die Centrirung des Okulars bewirken zu können. Die freie Öffnung des Objektivs beträg 9 Zoll bei 160 Zoll Brennweite. Fraunhofer hatte dem Fernrohr nicht weniger als 17 Okulare, welche zugleich zu den verschiedensten Mikrometerapparaten gehörten, beigegeben, durch welche Vergrösserungen von 65 bis 600 mal erzielt werden konnten. Von besonderem Interesse ist die Äquilibrirung des Instruments. Der Schwerpunkt des Fernrohrs liegt zwischen Objektiv und Deklinationsaxe, um das Stativ nicht zu hoch machen zu müssen. Das Übergewicht des Ob-

---

[1]) W. Struve stellt eine kurze Rechnung an, durch die er die Zweckmässigkeit des Holzrohres in Bezug auf die Temperaturveränderung nachzuweisen sucht (vergl. S. 381 ff.).

[2]) Vergl. den Aufsatz von Fraunhofer, Astron. Nachrichten No. 59.

jektivendes wird zugleich mit Vermeidung der Durchbiegung mittelst der beiden Stangen ϱ, ϱ in der Weise aufgehoben, dass dieselben an dem Ringe τ mit dem einen Ende angreifen, sodann auf halber Länge bei σ sich um doppelte Axen, die mit der Wiege λ des Fernrohres verbunden sind, bewegen können und an ihren anderen Enden je ein schweres Bleigewicht tragen. Durch das doppelte Axensystem bei σ ist die Äquilibrirung durch diese Stangen in jeder Lage des Instruments gesichert.

Die Balancirung in Bezug auf die Stundenaxe ist auf höchst sinnreiche Weise ausgeführt. Die gebogene, eiserne Stange v endet auf der einen Seite in dem starken Ring φ, an diesem sitzen zwei Ansätze ψ, welche in Gabeln auslaufen. Diese umfassen je einen stählernen Bolzen, die in der Mitte des Fernrohrlagers λ so angebracht sind, dass ihre Axen die verlängerte Deklinationsaxe treffen. Der Ring φ trägt an zwei entgegengesetzten Schrauben einen zweiten kleineren, starken Messingring, dieser wieder mit um 90^0 von den ersteren abstehenden Schrauben einen dritten noch kleineren Stahlring, der sich um die Büchse der Deklinationsaxe drehen lässt. Auf das andere Ende des eisernen Armes ist das schwere Gegengewicht ω aufgeschoben. Wie leicht einzusehen ist, kann auf diese Weise nicht nur für alle Lagen das Instrument mit Bezug auf die Stundenaxe äquilibrirt werden, sondern es ist auch gleichzeitig der Druck, welcher durch das schwere Fernrohr an der einen Seite der Deklinationsaxe besteht, durch die Stütze des Armes v auf die Büchse der Deklinationsaxe übertragen. Da bei vielen der älteren Instrumente die hier beschriebenen Äquilibrirungseinrichtungen zum Vorbild dienten, mag es gerechtfertigt sein, dass dieselben etwas eingehender erläutert wurden. Dem Fernrohr hat Fraunhofer einen Sucher von 29 Linien Öffnung bei 30 Zoll Fokallänge beigegeben. Er ist in der Weise mit dem Okulartheil des Fernrohres verbunden, dass sich seine optische Axe leicht parallel der des Hauptfernrohres stellen lässt. Mittelst zweier Okulare giebt derselbe 18- und 26malige Vergrösserung.

Das die Bewegung des Fernrohrs vermittelnde Uhrwerk ist im Wesentlichen ganz gleich demjenigen, welches später dem grösseren Pulkowaer Instrumente von Merz & Mahler beigegeben wurde, und später eingehender erläutert wird.

Es könnte für die heutige Generation befremdlich erscheinen, dass hier so lange bei diesem ersten für seine Epoche grössten Instrument verweilt worden ist, wenn nicht zu bemerken wäre, dass alles das, was uns heute an einer Äquatorealmontirung als ganz selbstverständlich erscheint, damals als etwas ganz Neues anzusehen war, und dass thatsächlich mit dem Bau des Dorpater Refraktors das Vorbild für alle späteren hierher gehörenden Kon struktionen geschaffen worden ist.

Die nicht viel später hergestellten Heliometer für Königsberg, Pulkowa und Bonn zeigen im Wesentlichen dieselben Einrichtungen der Montirung. Da oben schon das Pulkowaer Heliometer auch bezüglich seiner parallaktischen Aufstellung eingehend beschrieben worden ist, kann hier von einer Wieder holung des dort Gesagten füglich abgesehen werden.

b. Der 15zöllige Refraktor für Pulkowa.

Einen Fortschritt im Bau der Äquatoreale bezeichnet die Herstellung des 15-zölligen Refraktors für Pulkowa, welcher 1839 von MERZ & MAHLER, den Nachfolgern FRAUNHOFERS für jene Sternwarte geliefert wurde. Nach dem Wunsche des Gründers dieses bis auf den heutigen Tag hervorragenden Observatoriums sollte dasselbe mit den erreichbar besten Hülfsmitteln ausgestattet werden, und es kann wohl behauptet werden, dass ebenso wie 16 Jahre vorher der Dorpater Refraktor als das Meisterstück des astronomischen Instrumentenbaus galt, auch der für Pulkowa bestimmte Refraktor als ein solches seiner Zeit angesehen wurde. In der Fig. 1016 ist das Instrument selbst in Gesammtansicht und in Fig. 1017 das Uhrwerk für die parallaktische Bewegung dargestellt. Das Letztere stimmt, wie schon erwähnt, mit demjenigen des Dorpater Refraktors und des Königsberger Heliometers überein. Eine kurze Beschreibung mag hier folgen.

An Stelle des hölzernen Stativs trat bei dem neuen Instrumente der Monolith 1. Auf diesem, dessen schiefe Oberfläche mit ihrer Neigung der geographischen Breite entspricht, ruht, wie beim Dorpater Refraktor und wie bei allen späteren Merz'schen Instrumenten, ein schweres Gussstück 2 mit den Lagerböcken 3 und 4 für die Stundenaxe 11 und ein Widerlager 5 für das untere Ende derselben. Die Lagerplatte 2 ist mit dem Pfeiler durch mehrere Schrauben so verbunden, dass sowohl ihre Neigung, als auch ihre seitliche Richtung etwas korrigirt werden kann. Zwischen ihr und dem Pfeiler ist eine zweite Platte eingeschoben. Die Stundenaxe selbst ist aus Stahl und 46,6 Zoll lang.[1] Oben endigt dieselbe in eine cylindrische Platte 6 von 11 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Höhe.

Der Zapfen im oberen Lager hat 4,8 Zoll, der im unteren 4 Zoll Durchmesser. Am unteren Ende der Stundenaxe ruht dieselbe auf einer stählernen Schraube 7, welche das Widerlager 5 durchsetzt. Dadurch kann die Stundenaxe ihrer Länge nach so verschoben werden, dass an den Lagern keine Berührung ausser an den Zapfenflächen stattfindet. Das bedeutende Gewicht des ganzen Instruments wird zumeist durch ein Hebelsystem 8 mit dem Gegengewichte 9, welches an seinem oberen Ende zwei Rollen 10 trägt und dessen Drehpunkt in der oberen Lagerstütze sich befindet, oberhalb dieser letzteren äquilibrirt. Da das untere Ende der Stundenaxe aber trotzdem noch stark gegen den Lagerdeckel gepresst würde, drücken auf dasselbe zwei Rollen 12, welche durch einen Rahmen 13 zusammengehalten und mittelst der Schraube 14 gegen den Lagerbock 2 gezogen werden können. Unterhalb des Lagers 4 ist der Stundenkreis 15 von 18,4 Zoll Durchmesser aufgesetzt, welcher auch zugleich für den Eingriff der Uhrschraube 16 am Rande eingekerbt ist. Er wird durch die starke Schraubenmutter 17 gehalten. Der Kreis selbst ist von 10 zu 10 Minuten getheilt und durch zwei Verniers bis auf Zeitsekunden ablesbar.

Auf dem cylindrischen Stücke 6 der Stundenaxe ist die Büchse 18 für die Deklinationsaxe mittelst 10 Schrauben sicher befestigt; letztere ist von

[1] Die Maasse sind hier, wie auch beim Dorpater Instrument, in Pariser Zoll gegeben

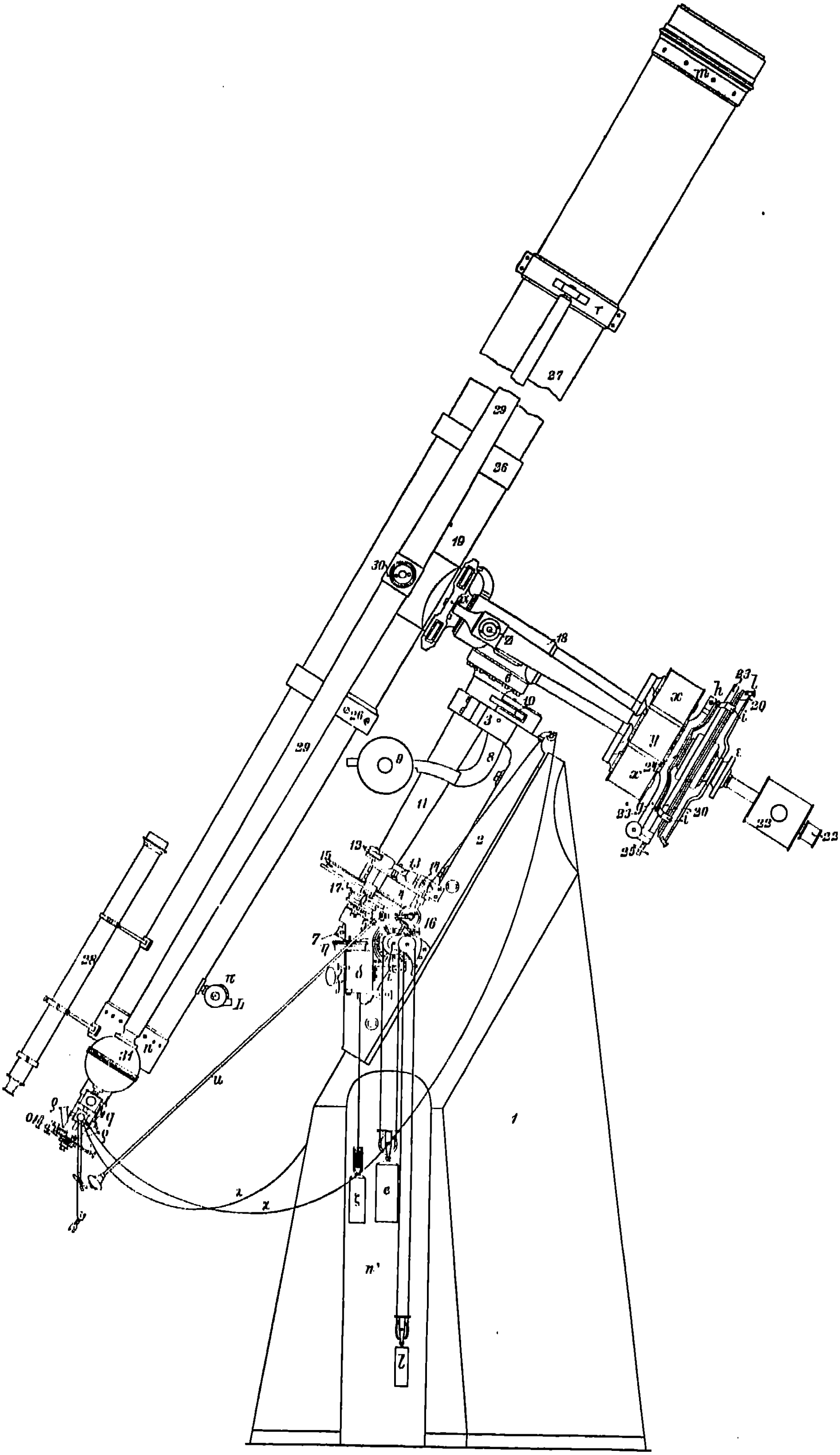


Fig. 1010.
(Nach Descript. de l'observ. de Poulkova.)

gleicher Länge und Form, wie die Stundenaxe und ruht ebenfalls nur in zwei Lagern, von denen das eine konisch, das andere cylindrisch gestaltet ist. Am einen Ende trägt sie die Wiege 19 für das Fernrohr, am anderen den Deklinationskreis 20, welcher mittelst vier Nonien i, i und zweier Lupen l abgelesen werden kann. Kreis sowohl wie Lupenträger werden durch besondere Muttern gehalten, von denen die ersteren auch zugleich ein Herausfallen der Deklinationsaxe verhindern. Die Axe selbst endet unten in einer Stange, welche die Gegengewichte 22 für das Fernrohr trägt. Über dem Deklinationskreis liegt ein zweiter Kreis 23, welcher mit dem an der Büchse befestigten Arme 24 und dem Mikrometerwerk bei 25 Klemmung und Feinbewegung der Deklinationsaxe ermöglicht.

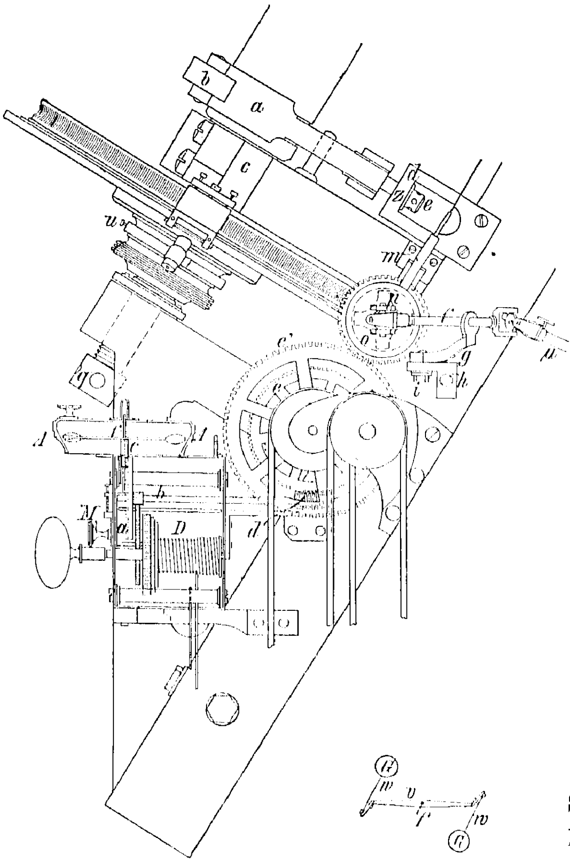


Fig. 1017a.

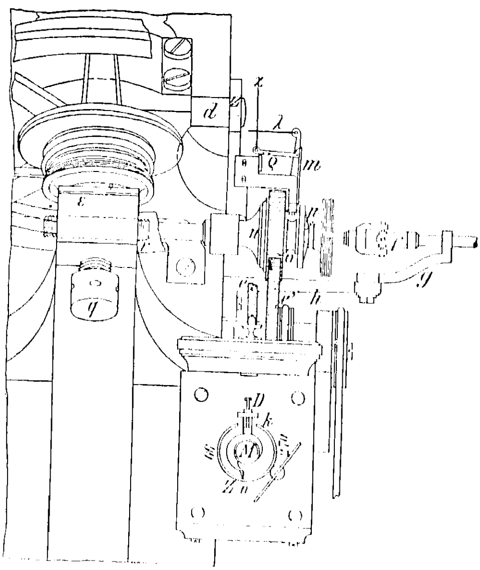


Fig. 1017b.

Fig. 1017c.

Das in der Wiege durch die Spangen 26 gehaltene Fernrohr 27 hat eine Länge von 22,9 Fuss, von denen 13,7 Fuss zwischen Objektiv und Deklinationsaxe und 9,2 Fuss auf der Seite des Okulars liegen. Das hölzerne Rohr hat am oberen Ende 17, am unteren 11,8 Zoll Durchmesser bei einer Dicke von 1 Zoll. An den Enden trägt es die metallenen Ringe m und n für Objektiv- und Okularfassung. Das Objektiv hat eine freie Öffnung von 14,93 Zoll, seine Fassung ist mit dem oberen Ringe durch 9 Schrauben korrigirbar verbunden. Die Brennweite des Objektivs beträgt 270,6 Zoll. Durch sechs ursprünglich beigegebene Okulare kann eine 152- bis 1218fache Vergrösserung erreicht werden. Bei Benutzung des Mikrometerapparates kann mittels einer grösseren Reihe von Okularen bis zu nahe 2000 maliger Vergrösserung gegangen werden. Mit dem Fernrohre ist ein Sucher von

3 Zoll Öffnung und 45 Zoll Brennweite verbunden. Das Mikrometer entspricht dem oben auf Seite 522 ff. beschriebenen, auch die Einrichtung für Feld- und Fadenbeleuchtung ist schon früher erläutert.

Ebenso wie beim Dorpater Refraktor liegen längs des Fernrohrs zwei Stangen 29, welche an ihren oberen Enden in einem das Fernrohr umspannenden Ring eingreifen, in der Mitte um ein auf die Fernrohrwiege sich stützendes Axensystem 30 sich bewegen können und am unteren Ende die schweren Bleikugeln 31, sowie einige kleinere Gegengewichte tragen. Durch diese Einrichtung wird nicht nur das Fernrohr mit seinem Zubehör bezüglich der Deklinationsaxe ins Gleichgewicht gesetzt, sondern auch einer Biegung des längeren Objektivendes entgegen gewirkt. Die Drehung der Stundenaxe im Sinne der scheinbaren täglichen Bewegung der Gestirne wird durch ein besonderes Uhrwerk und durch eine Übertragung der Bewegung desselben auf den Stundenkreis hervorgebracht. Die hier zu beschreibende Einrichtung ist den Fraunhofer'schen und später Merz'schen Instrumenten gegebenen Falls mit geringen Änderungen eigenthümlich.

Das eigentliche Uhrwerk D ist ein Kasten von 6 Zoll Höhe auf einer quadratischen Grundplatte von $5^1/_2$ Zoll Seitenlänge und enthält drei Radwellen. Auf die untere derselben, welche den Schneckencylinder trägt, wirkt das Gewicht. Durch die Räder a und b, Fig. 1017 a u. b, wirkt dasselbe einmal auf das Trieb c der Regulatoraxe und andererseits durch Eingriff der Schraube d auf die Räder e, e′ und o; das Letzere sitzt auf der Schraube ohne Ende r, welche in die Kerben des Stundenkreises eingreift. Der Regulator besteht aus einem in Fig. 1017 c besonders dargestellten Stäbchen v, durch dessen Mitte die Axe f geht; an den Enden dieses Stäbchens sind an dünnen Federn w die schweren Scheiben G, G angebracht. Dieser letztere Mechanismus ist in dem Kasten A, A eingeschlossen. Wird die Axe f in Umdrehung gesetzt, so wird die Entfernung der Scheiben G, G vom Centrum vermöge der Centrifugalkraft eine grössere, sie werden bei einer bestimmten Amplitude mit der Wandung des Kastens in Berührung kommen, durch die dadurch hervorgebrachte Reibung wird die Bewegung gehemmt, das Triebwerk geht langsamer und die Scheiben werden sich wieder der Axe f nähern. Das weitere Spiel des Regulators ist leicht einzusehen, ebenso die dadurch erzielte gleichförmige Bewegung des Instruments durch die angegebene Räderübertragung. Eine Veränderung des Uhrganges kann durch die Einrichtung bei M erzielt werden. Durch eine spiralförmig geformte Scheibe mit dem Zeiger o kann das untere Lager der Axe f (auf dem Kreise k messbar) gehoben und gesenkt werden, wodurch die Scheiben G erst bei grösserer oder geringerer Geschwindigkeit die Wandung des Kastens A, A berühren.

Um auch eine Bewegung der Stundenaxe unabhängig vom Gange des Uhrwerks hervorbringen zu können, greift in die Axe des Rades o, auf welche auch die Schraube ohne Ende geschnitten ist, ein vom Okularende aus erreichbarer Schlüssel f durch Vermittlung zweier Hooke'scher Gelenke ein. Dadurch lässt sich die erwähnte Axe direkt drehen, falls eine Scheibe durch die Hebel m derartig bewegt wird, dass sie das Rad o, welches nur durch

Reibung und den Druck der Feder p auf seiner Axe festgehalten wird, etwas längs dieser Axe verschiebt.

B. Die Repsold'schen Refraktoren.

Im Laufe der 40er und 50er Jahre wurde eine grössere Anzahl Äquatoreale meist noch mit fein getheilten, zu absoluten Messungen bestimmten Kreisen versehen angefertigt. Da an dieser Stelle aber der historischen Entwicklung ein nicht zu grosser Raum gewidmet werden kann, — so lehrreich und interessant das auch sein würde — so übergehe ich die Instrumente, welche z. B. für die Sternwarten von Kopenhagen (Konstrukteur: Jünger), für das Harvard-College (Merz) u. s. w. angefertigt wurden. Es wird das um so mehr gestattet sein, als sie alle keine wesentlichen Abweichungen oder Verbesserungen gegenüber dem Pulkowaer Instrument aufweisen. Auch das im Jahre 1858 von den Gebrüdern Repsold für Altona gebaute Äquatoreal möchte ich hier nur erwähnen,[1]) da es allerdings mehrere Verbesserungen besitzt, im Jahre darauf aber schon durch ein Instrument von etwa gleichen Dimensionen, gleicher Öffnung und Brennweite aus derselben Werkstätte für die Gothaer Sternwarte, z. Th. nach Hansen's Angaben montirt, übertroffen wurde. Da bei dem Gothaer Instrument sehr bemerkenswerthe Neuerungen eingeführt wurden, soll es mit Bezug auf die nach den Repsold'schen Originalzeichnungen angefertigten Figuren und mit Rücksicht auf deren eigene Erläuterungen eingehender beschrieben werden, obgleich bei den späteren Konstruktionen manche der sehr komplicirten, aber principiell interessanten Einrichtungen wieder in Wegfall gekommen sind.[2])

a. Das Gothaer Äquatoreal.

Das Stativ dieses Instruments besteht aus einer hohen, gusseisernen Säule 1, Fig. 1018, die unten in einen Dreifuss endigt, oben aber einen Aufsatz 2 trägt, der auf einer der Polhöhe entsprechend geneigten planen Fläche direkt die Büchse für die Stundenaxe 3 in der Weise aufnimmt, dass dieselbe am oberen Ende um ein cylindrisches Zwischenstück 4 etwas beweglich ist, während sie am unteren Ende der Lagerplatte durch entsprechende Zug- und Druckschrauben 5, 6 und 7 bezüglich ihrer Lage in Höhe und Azimuth korrigirt werden kann. An den beiden Enden ist die Büchse der Stundenaxe durch starke Platten geschlossen, welche zugleich die Lager für diese Axe enthalten. An der unteren Platte sind die Träger 8 für die Mikroskope des Stundenkreises befestigt. Die obere Platte ist gut abgedreht und dient einem am Rande gekerbten Uhrkreise 9 zur Führung. Die stählerne Stundenaxe liegt mit zwei cylindrischen Abdrehungen in den messingnen Lagern. Auf dem oberen Lager ruht die Axe mit einem geringen Theil des Gewichtes auf einer rechtwinklig abgedrehten Fläche; darüber ist die Stundenaxe verbreitert und trägt dort die Büchse für die Deklinationsaxe 10, deren Endflächen wieder die Lager für diese Axe bilden. Die Büchse 10 ist in Bezug auf die Stundenaxe ganz symmetrisch geformt, sie bildet einen Kubus mit zwei an beiden Seiten

[1]) Astron. Nachr. Bd. 58, S. 273.
[2]) Astron. Nachr. Bd. 59, S. 209 ff.

angesetzten vierseitigen Pyramiden. Ausserhalb der beiden Lager trägt die Büchse einerseits den Mikroskopträger 11 und andererseits eine Scheibe, auf welcher sich der Arm 12 mit dem Gegengewicht 13 für Klemme und Feinbewegung des Fernrohrs in Deklination dreht.

Die Zapfen der Deklinationsaxe sind zwei sehr nahe gleiche Cylinder, um diese Axe zur Bestimmung der Instrumental-Konstanten nivelliren zu können.[1]) Um eine Verschiebung der Axe in ihrer Längsrichtung zu verhindern, hat dieselbe in ihrer Mitte eine Flantsch bei 14, gegen welche vier Rollen 15, welche paarweise in der Deklinationsbüchse befestigt sind, drücken. Am einen Ende trägt die Axe den Kreis 16 und vier Handhaben 17 zur Einstellung in Deklination, auf der anderen Seite einen breiten Ansatz, an welchem der Kubus des Fernrohrs festgeschraubt ist. Das Fernrohr besteht aus zwei genau gleichen, an diesem Kubus befestigten konischen Röhren 18, 18, mit denen das Objektiv und das Okular mit Mikrometer so verbunden sind, dass sich die Mitte des Objektivs und das Fadennetz in genau gleichem Abstande von der verlängerten Deklinationsaxe befinden. An dem Würfel ist ein längs des Okulartheiles laufender Arm 19 befestigt, der dieselbe Länge wie die Deklinationsklemme hat und so mit derselben verbunden ist, dass ein Ansatz der letzteren zwischen die Mikrometerschraube 20 und einen Federstift eingreift.[2])

Ein Gegengewicht für den Arm 19 ist bei 21 angebracht. Die Klemmung der Stundenaxe wird auf folgende Weise bewirkt. Die Stundenstellschraube 22 wird zwischen zwei Spitzen in den unter dem Deklinationskasten befestigten Arm 23 (mit Gegengewicht 24) gehalten. Die Mutter desselben ist in der Längsrichtung der Schraube fest mit einer Klemme verbunden, die den oberen Rand des Uhrkreises umfasst; sobald diese geschlossen ist, würde also das Instrument der Uhrbewegung folgen, während es sich belieibg verstellen lässt, sobald die Klemme geöffnet ist.[3]) Um die Stundenstellschraube vom Okular aus bewegen zu können, trägt dieselbe ein kleines Zahnrad 25, in welches ein anderes auf einer mit dem Arm 23 verbundenen Axe laufendes Doppelzahnrad 26 eingreift, und dieses wieder kann durch den gezahnten Ring 27, welcher sich um die Deklinationsaxe dreht, in Bewegung gesetzt werden. Die Drehung des Ringes 27 erfolgt mittelst des Schnurlaufes 28 durch den Griff bei 29. Es sind also schon bei diesem Instrument sowohl Klemme als Feinbewegung in Deklination und Feinbewegung in Rektascension, ohne dass der Beobachter das Okular zu verlassen braucht, zu handhaben.

Die bei diesem Instrument ausgeführte Aufhebung des Lagerdruckes und

---

[1]) Das Instrument ist also für absolute Beobachtungen bestimmt gewesen, weshalb auch die beiden Kreise 24 Pariser Zoll Durchmesser haben und jeder 2 Theilungen trägt, eine feine von 4′ zu 4′ und mikroskopischer Ablesung und eine grobe mit Theilung von 10′ zu 10′ zur Einstellung an einem einfachen Index.

[2]) Siehe oben Klemmen und Feinbewegung.

[3]) Da das Instrument zunächst ohne Uhrwerk gebaut wurde, der Uhrkreis also stets frei beweglich blieb, ist noch eine zweite Klemmung der Stundenaxe in Gestalt einer gegen die Führung des Uhrkreises drückenden Scheibe angebracht, welche durch einen besonderen Schlüssel in Thätigkeit gesetzt wird.

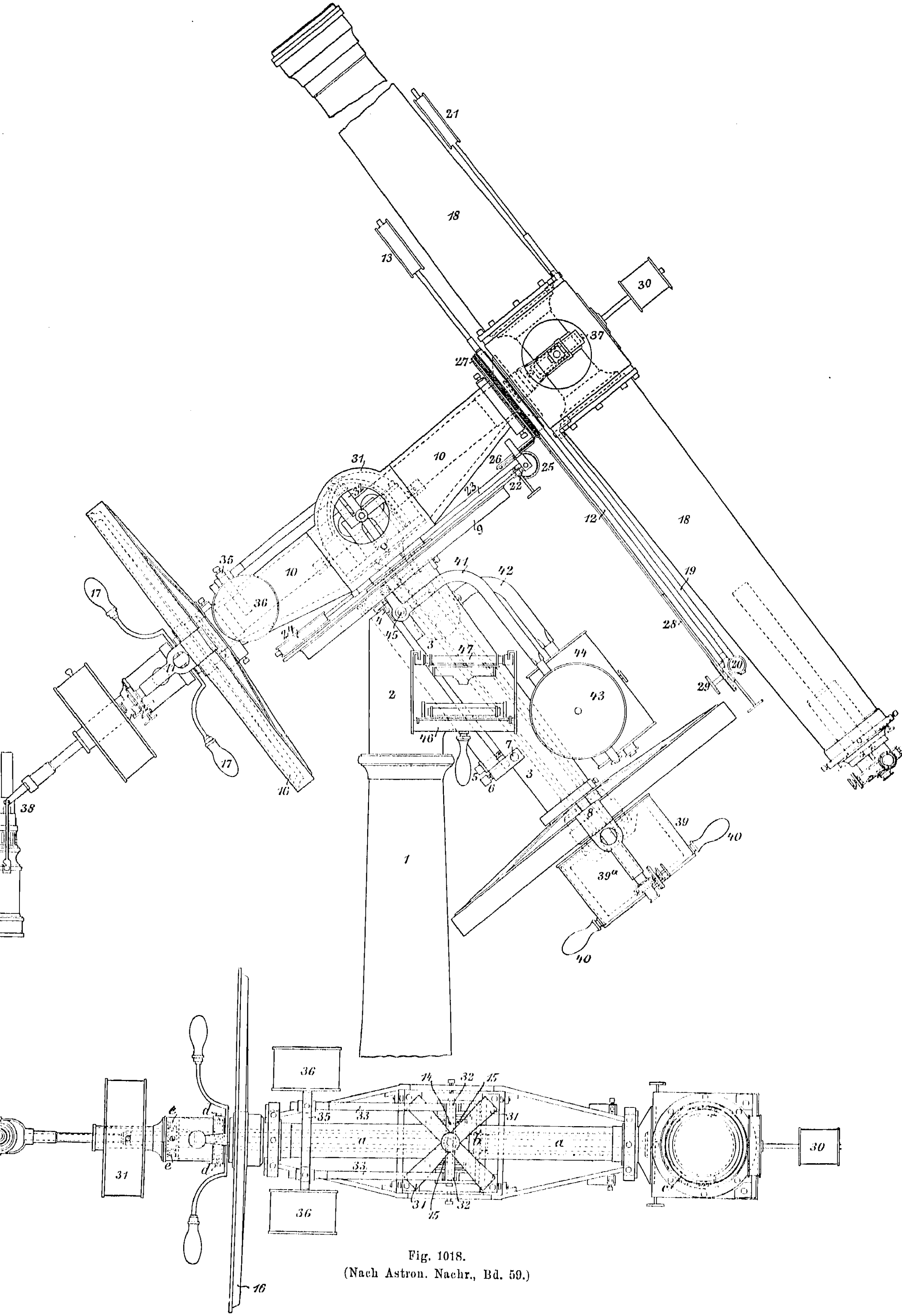


Fig. 1018.
(Nach Astron. Nachr., Bd. 59.)

der Biegung der Axen bildet den interessantesten Theil desselben, doch mag hier nur die Repsold'sche Ausführung der von HANSEN angegebenen Anordnung kurz beschrieben werden, während ich bezüglich der Theorie derselben auf den hier zu Grunde gelegten Aufsatz in den Astronomischen Nachrichten (vergl. auch Wilnaer Journal des Herrn GUSEFF) verweisen muss.

Die Vermeidung der Durchbiegung der Deklinationsaxe wird folgendermassen bewerkstelligt: die Axe ist ihrer ganzen Länge nach durchbohrt und zwar in der dem Fernrohr zugewandten Hälfte mit einer etwas grösseren lichten Weite. In dieser Bohrung liegt eine Stahlstange a, welche nahe ihrer Mitte einen am Rande kugelförmig abgedrehten Ring b trägt, der genau in den weiteren Theil der Bohrung hineinpasst. Dieser Ring wird einerseits durch den Absatz zwischen den ungleich weiten Bohrungen und andererseits durch eine in die weitere Bohrung eingeschobene und verschraubte Messingröhre an grösserer Längsverschiebung verhindert. Am Fernrohrende läuft die Stange a in eine Gabel c, c aus, welche innerhalb des Kubus die Last des Fernrohrs an einem doppelten Ringsystem trägt. Diese Ringe umfassen ein zur Verstärkung des Kubus eingesetztes Rohr, sind auf demselben drehbar und der äussere derselben ruht mit diametralen Axen in Lagern, welche in Ausschnitten der Gabelarme beweglich sind. Dadurch wird die Last des Fernrohrs nach allen Richtungen beweglich mit diesem Arme des Hebels a a verbunden. Da der der Axe zugewandte Theil des Kubus etwas schwerer ist, als dessen andere Seite, ist zur Ausgleichung noch das kleine Gewicht 30 angebracht. Das andere Ende des Hebels a a durchsetzt den engeren Theil der Deklinationsaxe und ist durch Vermittelung eines besonderen Hebelsystems bei d d und e e durch das Gewicht 31 derartig belastet, dass mit Bezug auf den Drehungspunkt bei e Gleichgewicht stattfindet.

Der Lagerdruck der Deklinationsaxe wird durch ein besonderes Hebelsystem mit Gegengewicht aufgehoben. Da dieses Hebelsystem in jeder Lage des Instruments dem Gegengewicht folgen muss, ist dasselbe folgendermassen angeordnet und zum Theil in einem gusseisernen Gehäuse 31 untergebracht. Ein starker, die Deklinationsaxe im weiten Abstande umfassender Ring 32 tritt mit zwei einander gegenüberstehenden Zapfen in den Boden und den Deckel des Gehäuses und kann sich also um die verlängerte Mittellinie der Stundenaxe drehen. An jeder Seite trägt er in der Höhe der Deklinationsaxe einen Arm des Doppelhebels 33, die sich beide um konaxiale Zapfen bewegen und somit die zweite erforderliche Bewegungsfreiheit bieten. Die beiden Arme sind an dem einen Ende durch ein Querstück verbunden, welches die beiden gegen die Axe laufenden Rollen trägt; am anderen durch ein verschiebbares Zwischenstück 35, welches die beiden Gegengewichte 36 hält. Da diese Einrichtung das Gesammtgewicht der Deklinationsaxe aufhebt, wird dieselbe, um sie in den Lagern zu sichern, darin durch je eine Feder niedergedrückt deren Spannung durch eine Schraube variirt werden kann. Auch die Stange a a ist ihrer ganzen Länge nach durchbohrt, so dass das Licht der Lampe 38 vermittelst des Prismas bei 37 nach dem Okular gelangen kann.

Die Äquilibrirung der Stundenaxe ist im Wesentlichen der bei der Deklinationsaxe angewandten ähnlich, jedoch ist das Hauptaugenmerk auf die

Aufhebung des Lagerdruckes gerichtet, da eine geringe Durchbiegung dieser Axe, weil in allen Lagen gleich bleibend, ohne Bedeutung ist. Auch die Stundenaxe ist ihrer ganzen Länge nach durchbohrt, jedoch der obere Theil etwas weiter. Der die Durchbiegung verhindernde Hebel sitzt mit einem kugelförmig abgedrehten Ringe auf dem Zusammenstoss beider Bohrungen. An seinem oberen Ende ist das mehrfach erwähnte Gehäuse 31 aufgeschraubt, während das untere sich konisch verjüngend die Stundenaxe durchsetzt und dort ein in einem Gehäuse 39 eingeschlossenes Gegengewicht 39[a] trägt. Das Gehäuse 39 ist mit der Stundenaxe verbunden, und mittelst zweier an ihm angesetzter Griffe kann die Letztere gedreht werden. Den Lagerdruck heben zwei Hebelsysteme 41[1]) und 42 mit den Gegengewichten 43 und 44 in der aus der Figur leicht ersichtlichen Weise auf.

Die Neigung der Stundenaxe kann durch ein Hängeniveau 46 kontrolirt werden, welches auf einem mit der Büchse der Stundenaxe fest verbundenen cylindrischen Stabe 47 ruht.

In noch etwas verbesserter Ausführung wurde 1867 die eben beschriebene Montirung für das Hamburger Äquatoreal von 9 Zoll (244 mm) Öffnung und $9^1/_2$ Fuss (3,1 m) Fokallänge in Anwendung gebracht. Wie schon früher bemerkt, sind auch an diesem Instrument die Kreise zu direkten Beobachtungen eingerichtet und durch je zwei Mikroskope bis auf Sekunden ablesbar.

b. Die Refraktoren der Sternwarten zu Strassburg, zu Mailand und der Pulkowaer 30-Zöller.

In den 70er Jahren wurden in der Repsold'schen Werkstätte die beiden grossen Äquatoreale für Strassburg und Mailand ausgeführt, welche beide 487 mm Öffnung und 7 m Brennweite haben; die Fig. 1019 zeigt den Ersteren derselben. Eine grössere Reihe von Verbesserungen ist dabei in der parallaktischen Aufstellung zur Ausführung gelangt, welche sich zumeist auf die Anordnung des Axensystems und die Balancirung beziehen. Auch dem Rohre ist hier schon die Gestalt eines einfachen Kegels gegeben, dessen grosse Grundfläche das Objektiv- und dessen kleine das Okularende bildet. Dadurch kann die Absehenslinie der Stundenaxe mehr genähert werden und die Balancirung wird eine leichtere. Weiterhin ist besondere Vorsorge getroffen, dass nicht nur die Klemmung der Deklinationsaxe und die zugehörige Feinbewegung, sondern auch die entsprechenden Theile für die Stundenaxe vom Okular aus, d. h. ohne dass der Beobachter seine Stellung am Okular zu verlassen braucht, bewirkt werden können. Auch ist die Klemm- und Feinbewegung im Stundenwinkel durch Anbringung eines besonderen Uhrkreises am oberen Ende der Stundenaxe von der Uhrbewegung ganz unabhängig gemacht, sodass ohne das Triebwerk ausschalten zu müssen, das Fernrohr sowohl um grosse Winkel, als auch mikrometrisch bewegt werden kann. Die Theilkreise auf beiden Axen sind verhältnissmässig klein und werden durch je zwei Mikroskope abgelesen, von denen diejenigen für den Deklinationskreis bis zum

[1]) Dieses Hebelsystem ist gerade wie bei der Deklinationsaxe ein doppeltes, dessen beide Theile um die Axe 45 für sich drehbar sind und unterhalb des Kreises 9 ein Rollensystem gegen die Stundenaxe pressen.

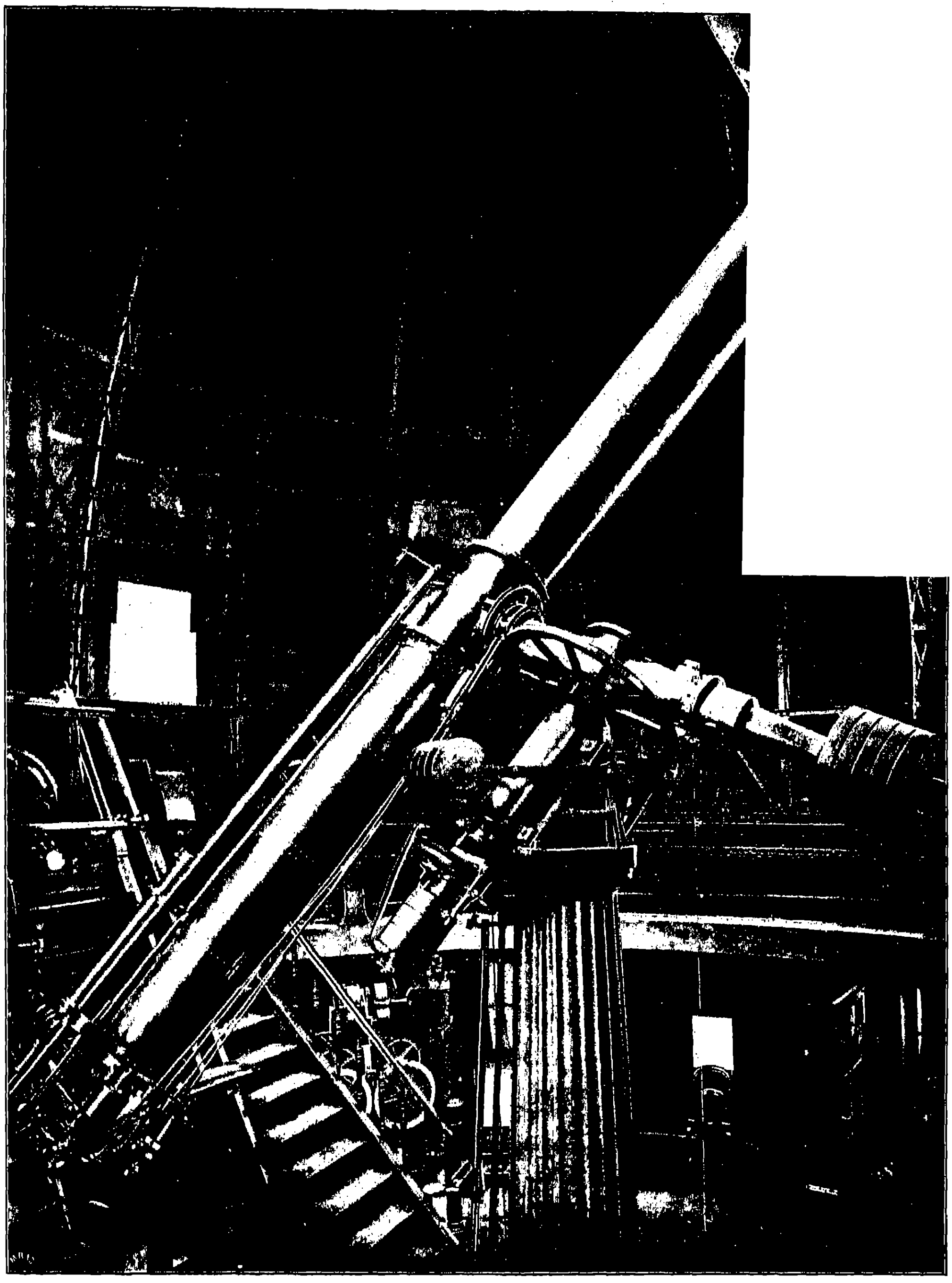


Fig. 1010.
(Nach einem v. H. Prof. Becker zur Verfügung gestellten Original.)

Okular reichen und vor ihren Objektivenden rechtwinklige Prismen tragen, um die Gesichtslinien rechtwinklig zum Deklinationskreis zu brechen.

Die Axeneinrichtung der beiden Instrumente und deren Äquilibrirung geht aus

70*

Fig. 1019 in leicht verständlicher Weise hervor. Ich muss mir an dieser Stelle versagen, weiter darauf einzugehen, vielmehr gehe ich sofort zur eingehenden Beschreibung des in den 80er Jahren für Pulkowa gebauten 30zölligen Refraktors über, für welchen alle bis dahin gesammelten Erfahrungen in der Montirung solcher grossen Instrumente verwendet worden sind und dessen Einrichtung wohl zu dem Besten gehört, was auf diesem Gebiete überhaupt geleistet worden ist. Die Fig. 1020 giebt eine allgemeine Ansicht dieses Instruments, während Fig. 1021 das Okulartheil allein darstellt. Die Details der Montirung sind mit besonderer Genauigkeit aus der Fig. 1022 ersichtlich, welche mir von den Herren Repsold gütigst zur Verfügung gestellt worden ist. Der weiteren Erläuterung lege ich die ebenfalls von den Erbauern selbst verfasste Beschreibung zu Grunde.[1])

Die Säule des ganzen Instrumentes, welches auf einem brunnenartigen Backsteinfundament ruht, besteht aus sieben durch Schraubenbolzen mit einander verbundenen Theilen, dessen unterster ein hohler Konus von 45° Seitenneigung ist. Er ist mit dem Fundamente unveränderlich durch einen Cementguss verbunden. Der Kopftheil ist ein kastenförmiger Hohlkörper, dessen obere Platte parallel zur Polaraxe liegt. Die Korrektion in Polhöhe geschieht an dem Kopftheile durch zwei von unten wirkende Druckschrauben 1, diejenige im Azimuth durch Drehung des obersten Säulentheiles auf dem darunter liegenden mittelst im Innern angebrachter Stellschrauben.

Auf dem Säulenkopf ruht die gusseiserne Büchse der Stundenaxe. Sie ist in der Hauptform cylindrisch und hat am oberen Ende zugleich die Führungsscheibe für den Uhrkreis 2, in welchem die in einem besonderen Aufbau des Säulenkopfes geführte und vom Uhrwerk getriebene Schraube 3 eingreift. Um das Instrument durch die Rektascensionsstellschraube beliebig lange auf einem Gestirn halten zu können, ohne diese Schraube zurückdrehen zu müssen, läuft auf dem Uhrkreis auf federnden Rollenträgern ein am Rande eingekerbter Ring 4 von gleichem Durchmesser mit jenem, welcher durch ein Klemmstück 5 auf den Umfang des Uhrkreises festgedrückt werden kann, sodass durch eine in den Gang des Ringes eingelagerte Schraube 6 die Deklinationsaxe unabhängig von der Uhrbewegung zu verstellen ist. Die Druckschraube 7 des Klemmstücks und die Stellschraube können vom Okular aus bewegt werden; das Klemmstück wird durch einen um den Kopf der Stundenaxe sich drehenden Arm 8 geführt, so dass es nach Lösung der Druckschraube fast an das Ende seines Anschlages zurückspringt, um dann sogleich von Neuem geklemmt zu werden und die Stellschraube weiter wirken zu lassen. Am unteren Ende trägt die Röhre der Stundenaxe zwei Mikroskope 9 zur Ablesung eines unteren Stundenkreises 10; ein zweiter Stundenkreis 11 ist oberhalb des Uhrkreises befestigt und gestattet auch die Einstellung im Stundenwinkel vom Okular aus.

Die Stundenaxe besteht aus Krupp'schem Gussstahl; sie ruht in zwei cylindrischen Lagern und stützt sich in der Längsrichtung auf ihr unteres Lager. Unterhalb desselben trägt sie neben dem Theilkreis 10 noch ein

[1]) Festschrift zum 50jährigen Bestehen der Nikolai-Hauptsternwarte. St. Petersburg 1889.

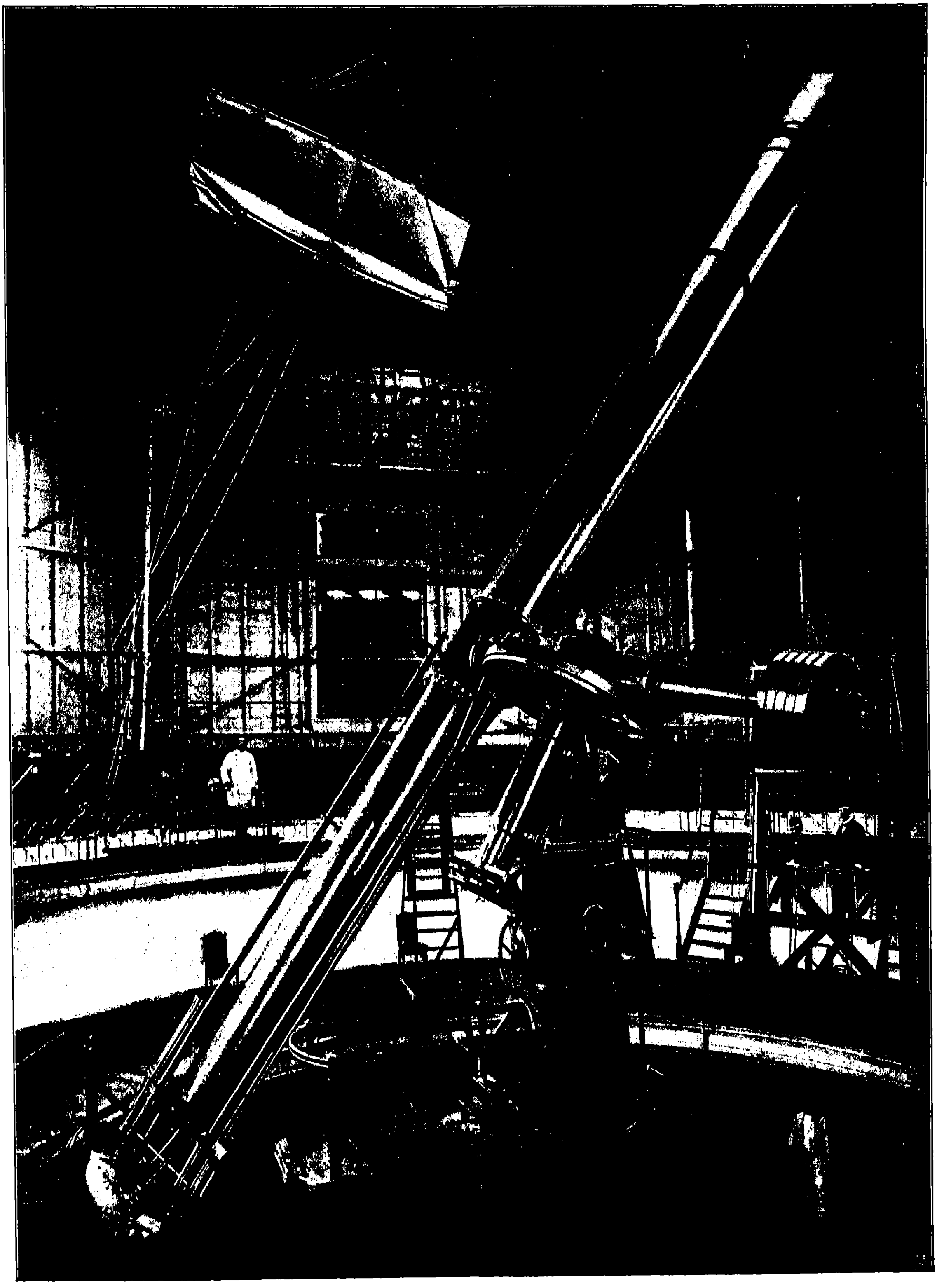


Fig. 1020.

Zahnrad 12 zur Drehung der Axe durch ein an der Säule angebrachtes Vorgelege mit Handrad 13; auf dem Kopfende der Axe ruht die Büchse der Deklinationsaxe. Der Lagerdruck der Stundenaxe wird aufgehoben durch eine senkrechte Scheibe 14, welche in einer Hohlkehle dieser Axe oberhalb des oberen Zapfens läuft; die Scheibe steht senkrecht unter dem Schwerpunkt aller mit der Stundenaxe sich drehenden Theile und entlastet daher die Lager in beiden Richtungen; die Zapfen der Scheibe haben ihre Lager auf einem horizontalen Träger 15, welcher mit dem einen Ende auf dem Säulenkopfe ruht, während das andere durch einen unter dem Träger liegenden Hebel 16 hinaufgedrückt wird. Der lange Arm dieses Hebels trägt an einer bis in das Fundament hinabreichenden Kette das Gegengewicht.

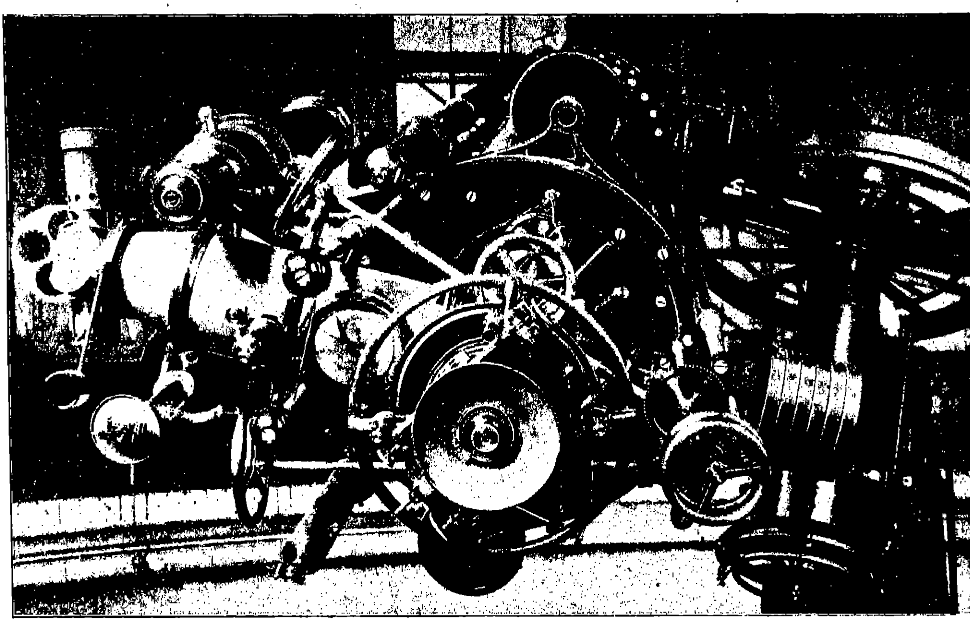


Fig. 1021.

Die Stundenaxe ist mit einer weiten, der Länge nach durchgehenden Bohrung versehen, um die Einstellung der Deklination vom unteren Ende der Stundenaxe zu ermöglichen. Zu diesem Zwecke dreht sich in der Bohrung ein starkes Rohr, unten mit einem Handrad 17, oben mit einem Triebe 18 versehen, welches durch Übersetzungen auf ein mit der Deklinationsaxe fest verbundenes Zahnrad 19 wirkt. Vor diesem Zahnrad trägt die Deklinationsaxe einen kleinen Theilkreis 20, welcher durch ein in jenem Rohre angebrachtes Objektiv und ein an der Kopffläche der Stundenaxe befestigtes Prisma 21 von unten her sichtbar ist. Die Beleuchtung dieser Theilung geschieht durch eine an der Säule hängende Lampe 22 mit Hülfe eines hinter dem Okular angebrachten Planglases mit 45° Neigung gegen dessen Axe. Dieses Glas, sowie auch ein Faden, welcher als Index für die einzustellenden Deklinationen dient, sind nebst dem Okular durch einen Arm 23 in unveränderlicher Stellung an der Säule befestigt. Dieselbe Lampe

sendet zugleich Licht auf den Faden eines gebrochenen, schwach vergrössernden Mikroskops 24 zur Ablesung des unteren Stundenkreises. Die Okulare der Mikroskope für diese Ablesungen in α und δ und die zu den entsprechenden Einstellungen dienenden Handräder 13 und 17 liegen so nahe beisammen, dass man sie alle bequem von einer festen, südlich vom Instrumente angebrachten Bühne 25 aus erreichen kann. (Vergl. dazu Fig. 1020).

Die Büchse der Deklinationsaxe ist ein gusseiserner Körper in Form eines zur Stundenaxe koncentrischen, cylindrischen Mitteltheils mit zwei rechtwinklig anschliessenden Konen, in deren gemeinsamer Mittellinie die Deklinationsaxe liegt. Das Gegengewicht für das Fernrohr sitzt auf einer konischen Verlängerung der Büchse. Die andere Seite der Büchse trägt kurz hinter dem grossen Lager der Axe den Deklinationskreis 26, dahinter die Deklinationsklemme 27, welche man durch zwei lange Schlüssel 28, 29 vom Okular her anziehen und mittelst der Stellschraube auf das Fernrohr wirken lassen kann. Ferner liegen hinter der Klemme die beiden Zahnringe 30, 31 zur Übertragung der Klemmung und Einstellung im Stundenwinkel, welche von zwei anderen, zum Okular führenden Schlüsseln 32, 33 gedreht werden können. Der innere dieser beiden Ringe 30 hat eine cylindrische und eine konische Verzahnung; die erstere wirkt durch eine Zwischenräderwelle 34 auf die Klemmschraube, in die andere greift ein Trieb 35, dessen Welle den Schlüssel der Deklinationsaxe der Länge nach durchläuft und unmittelbar mit dem langen Schlüssel 28 in Verbindung steht. Der andere, auf dem Ringe 30 sich drehende Zahnring 31 hat zwei konische Zahnungen, von denen die eine durch ein Zwischenrad 36 mit der Stundenstellschraube in Verbindung steht, während die zweite ein Trieb 37 aufnimmt, dessen Welle, ähnlich wie bei 35, in der Deklinationsklemme liegt und mit einem der vier langen Schlüssel 29 durch Zahnräder 38, 39 verbunden ist. Die Wellen der Triebe 35 und 37 liegen koncentrisch; es muss daher eine derselben, die für 37, aus einem Rohr bestehen, während die letztgenannten Zahnräder 38, 39 nur dazu dienen, die beiden koncentrischen Drehungsaxen auseinander zu bringen. Vergl. dazu auch die Fig. 498.

Die Feinbewegungsschrauben wirken in beiden Richtungen unmittelbar ohne Gegenfedern, es wird dadurch eine sicherere Bewegung der schweren Massen gewährleistet, während der etwa eintretende todte Gang durch die Korrigirbarkeit der Lagerpfannen für die auf den Schraubenspindeln sitzenden kugeligen Erweiterungen vermieden werden kann.

Die gussstählerne Deklinationsaxe ist in zwei cylindrischen Lagern geführt, einem grösseren, ganz nahe dem Fernrohr (unmittelbar hinter dem Deklinationskreis 26), und einem kleineren an ihrem anderen Ende, welches zugleich zwischen zwei planen Anschlägen den Halt in der Längsrichtung giebt. Die Axe trägt ausser dem Fernrohr noch das Zahnrad 19 und den Theilkreis 20 für die erste Deklinationseinstellung. Zur Ablesung des Stundenkreises vom Okular aus ist sie der Länge nach durchbohrt.

Das Fernrohr besteht aus einem gusseisernen, trommelförmigen Mittelstück und zwei genieteten Stahlblechrohren, deren Blechdicken gegen die Enden hin abnehmen. Das Ganze fällt vom Objektiv zum Okular in einem

durchgehenden Konus ab. Die beiden Rohrhälften sind von verschiedener Länge; die Okular-Seite ist möglichst kurz gehalten, um das Beobachten zu erleich-

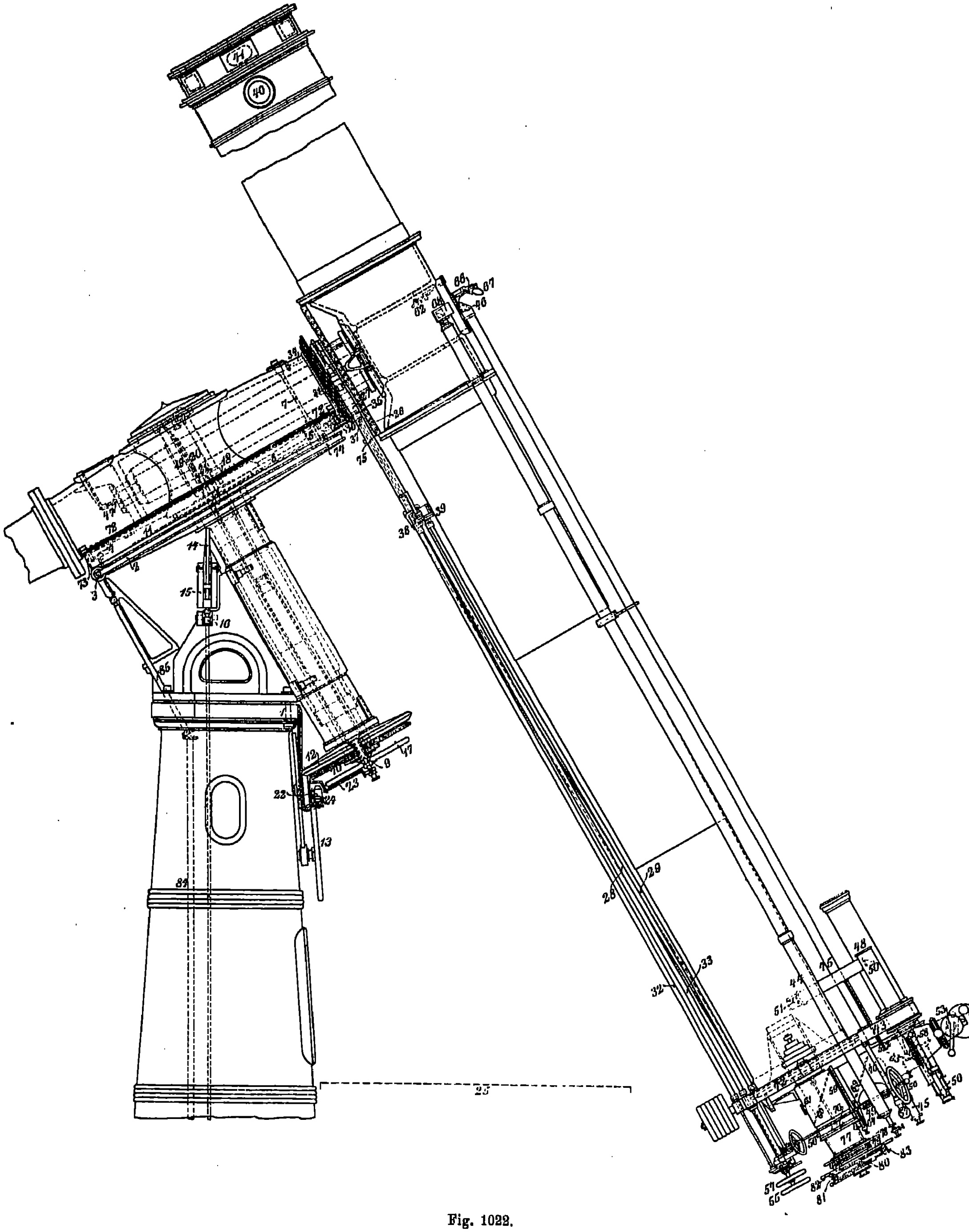


Fig. 1022.

tern und zugleich bei möglichster Beschränkung des Durchmessers des Beobachtungsraumes Platz für bequeme Fahrstühle zu gewinnen. Am Objektivende des Rohres befinden sich zwei verschliessbare Öffnungen 40, sodass

man auch die hintere Fläche des Objektivs leicht reinigen kann. Auch die Fassung des Objektivs 41 ist an sechs Stellen durchbrochen, so dass man auch zu den inneren, etwa 160 mm von einander entfernten Flächen der Gläser gelangen kann. Die erstgenannten Öffnungen können auch zur Lüftung der Rohres gebraucht werden, indem sich am Okularende entsprechende verschliessbare Öffnungen befinden. An der Endfläche des Okularrohres ist eine Platte 42 mit Büchse für den Auszug des Positionsmikrometers und, diese umfassend, ein grosses Ringstück 43 mit mehreren Ansätzen befestigt, welches die in der Nähe des Okulars nothwendigen Theile trägt. Das Auszugsrohr wird durch eine Schraube mit Gelenkschlüssel 76 bewegt und ist mit einer Theilung versehen. An der vorderen Fläche desselben ist die Büchse 77 des Positionsmikrometers befestigt. Sie trägt an der dem Auge zugewandten Seite den Positionskreis 78 und die Klemme 79, an welcher das Kopfende der Positionsstellschraube in einem Kugellager gehalten wird. Das Muttergewinde für die Schraube ist an dem Umfange eines langen Bogenstücks eingeschnitten, welches an dem Kopfe des in der Büchse 77 drehbaren Rohrzapfens befestigt ist und einen Ausschlag der Bewegung von beiläufig 60^0 gestattet. Der Okularkopf besteht aus einer Platte, vor welcher das Mikrometergehäuse 80 mit einer Schiebung durch Schraube 81 parallel zur Richtung des Mikrometers gehalten wird, und vier anschliessenden Armen zur Haltung eines das ganze Mikrometer umgebenden Anfassringes 82 für Positionsdrehung aus freier Hand; zwei dieser Arme tragen zugleich die Mikroskope zur Ablesung des Positionskreises.

Das dem Refraktor beigegebene Mikrometer 80 mit den Bewegungsschrauben 81 und 83 ist den schon in Kapitel „Mikrometer“ eingehend beschriebenen Repsold'schen Konstruktionen gleich. Es ist mit einem Typendruck-Apparat von ebenfalls schon früher beschriebener Form versehen.

Das grosse Ringstück am Ende der Okularhälfte des Fernrohrs trägt: zwei lange, gebrochene Mikrometermikroskope 44 zur Ablesung des Deklinationskreises, ein Ablesrohr 45, welches durch zwei Prismen 46 und 47 an beiden Enden der durchbohrten Deklinationsaxe den oberen Stundenkreis sichtbar macht, die vier Schlüssel zur Klemmung und feinen Einstellung in Rektascension und Deklination, den Sucher 48 (162 mm Öffnung mit Objektiv von Merz) und ein Spektroskop 50, welches durch Einschieben eines rechtwinkligen Prismas 51 mittelst des Schlüssels 52, in den Strahlenkegel des grossen Objektivs in Benutzung genommen werden kann. Die vier langen Schlüssel durften hier nicht, wie bei kleineren Instrumenten, unmittelbar die Handhaben tragen; für die Köpfe der Klemmen 54 und 55 war Übersetzung zur genügenden Wirkung erforderlich, und die Schlüssel für die Stellschrauben mussten an dem Auszug vorüber bis in die Nähe des Suchers geführt werden, damit sie auch für diesen benutzt werden können. Die Köpfe dieser Schlüssel bestehen aus kleinen Handrädern 56 mit Kurbeln für schnellere Bewegung; zwei ähnliche Handräder 56 sind auch am anderen Ende der Schlüssel angebracht, um diese in allen Lagen des Instruments bequem erreichen zu können. Für den Fall, dass man das Fernrohr aus freier Hand bewegen will, bedient man sich zweier fester Handhaben 57. Die Anordnung dieser

Theile lässt die Fig. 1021 deutlich erkennen. Zur Beleuchtung sämmtlicher Ablesestellen und auch des Gesichtsfeldes, sowohl für dunkle Fäden auf hellem Grunde, als helle Fäden auf dunklem Grunde, dient die Lampe 53. Vermittelst einer guten Linse wird das Licht zunächst auf einen Planspiegel um 90^0 gebrochen, sodass es stets senkrecht zur optischen Axe des Fernrohrs auf die plankonvexe Linse 58 trifft und aus dieser parallel austritt. Einzelne koncentrische Ringe dieses Lichtbüschels werden nun durch geeignete Reflexion an Spiegeln oder in Prismen nach den einzelnen Theilen des Instruments hingeleitet. Der elliptische Spiegelring 60 leitet das Licht zu einem hinter der Fadenplatte liegenden konischen, weissen Ring; durch das von dort (von vorne) auf die Fäden gelangende Licht erscheinen die Fäden hell auf dunklem Grund. Durch vier Ausschnitte in dem weissen Ring gelangt Licht zu den Ablesestellen am Positionskreis und zu den Schraubentrommeln des Mikrometers. Die mittelsten Strahlen treten ungebrochen durch den Linsenring, durchkreuzen den Strahlenkegel des Fernrohrs und werden nach einander von den Spiegeln 61 und 62 zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes benutzt. Durch eine eigenthümliche Einrichtung, welche aus sechs Blechschirmen besteht, die von aussen gleichmässig bewegt werden können, kann die Intensität beider Beleuchtungen verändert werden. Die Bewegung der Schirme wird durch den Arm 63 bewirkt, dessen Stellung an einem Bogen 64 zur Erreichung gleicher Grade der Beleuchtung abgelesen werden kann. Die Ablesestellen am Deklinations- und am oberen Stundenkreise werden durch das Licht, welches der elliptische Spiegelring 65 nach den Spiegeln 66, 67 und 68 wirft, beleuchtet. Diese Spiegel und die Prismen 47 (für den oberen Stundenkreis), 45 und 46 (für den Deklinationskreis) leiten das Licht zu den Theilungen und wieder zurück in das Gesichtsfeld der Ablesemikroskope. Der Spiegelring 69 sendet einen Theil des Lichtes zur Glasscheibe eines elektrischen Zifferblattes bei 49, während die Beleuchtung der Fäden im Mikrometer des Spektroskops durch den Spiegel 70 erreicht wird. Ein Theil des Lichtbüschels für die Feldbeleuchtung erhellt die Skala am Okularauszug. Die Farbe der Beleuchtung kann durch die Scheibe 71, welche zwei durch farbige Gläser verschlossene und eine freie Öffnung enthält, verändert werden.

Die Verbindungsdrähte des elektrischen Zifferblattes mit einer Hauptuhr laufen, um frei hängende Theile zu vermeiden, in den Bohrungen der Axen entlang. Sie treten am unteren Ende der Stundenaxe aus und gehen von da durch Vermittelung zweier Schleifkontakte in das Innere der Säule über. Durch die zweitheilige Glasplatte 72, welche an dem Eisenring 73 befestigt ist, wird der Uhrkreis und die nach oben liegende Theilung des Stundenkreises geschützt. Durch ein besonderes, schmales Messingband 74, welches in einer Nuth des Umfanges am Stundenkreise gleitet, wird dessen Einkerbung vor Beschädigung bewahrt. Ebenso wird der Deklinationskreis von einer Blechplatte, welche an dem zweitheiligen Eisenreif 75 befestigt ist, so bedeckt, dass nur die für die Ablesung nöthigen Stellen frei bleiben. Durch besondere Klappen in den Axbüchsen ist für die Zugänglichkeit der Zapfen und ihrer Lager zum Zwecke des Ölens gesorgt. Für die Stundenaxe sind auch sogenannte Selbstöler angebracht.

Die Durchbrechungen der grossen Axenlager, durch welche man zu den Zapfen gelangt, sind mit dicken Filzplatten (in Leinen) ausgefüllt, um das Herablaufen des Öles möglichst zu verhüten; sie sind ausserdem mit Staubblechen verschlossen.

Das Uhrwerk, Fig. 1023, ist ganz getrennt vom Instrument an der Umfassungsmauer des Beobachtungsraumes befestigt. Die Bewegung wird durch drei lange Rohre mit Zahnradverbindungen übertragen, von denen eines senkrecht vom Uhrwerk aus in den Keller führt, das zweite quer durch den

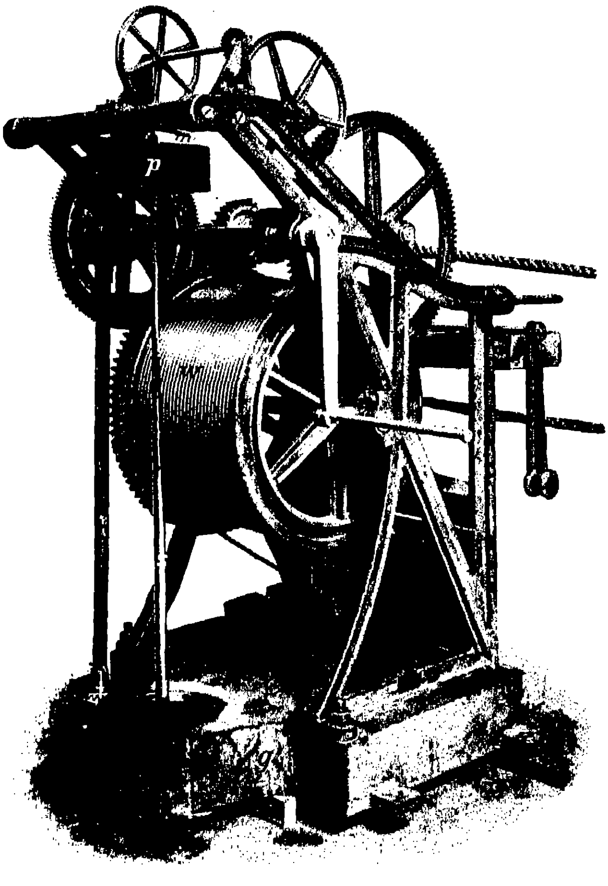


Fig. 1023.

Keller bis in das Fundament der Säule und das dritte 84 in der Säule hinauf zu der Welle eines auf die Uhrschraube 85 wirkenden Zahnrades. Die ersten Räder des Werkes, bis zur Aufziehwelle, sind von Gusseisen, die übrigen von Rothguss. Der Regulator ist ein feststehendes Federpendel, d. i. eine mit der Grundplatte des Werkes innig verbundene Stahlstange von rundem Querschnitt, welche gegen ein am oberen Ende befindliches Gewicht hin in Form gleichen Widerstandes verjüngt ist und über dem Gewicht in einem cylindrischen Zapfen ausläuft. An diesem Zapfen wird das Pendel durch einen geschlitzten Mitnehmerarm, dessen Umlaufswelle mit der Axe

des Pendels in einer Linie liegt, von dem Werk herumgeführt. Im Zustande der Ruhe wird die Stange durch einen kleinen Abweiser etwas abseits von der senkrechten Gleichgewichtslage gehalten; sobald das Gewicht vom Werk herumgetrieben wird, vergrössert sich der Ausschlag so lange, bis der Centrifugaltrieb in dem Biegungswiderstande der Pendelstange seine Ausgleichung findet. Da diese beiden einander entgegenwirkenden Kräfte einfach proportional dem Ausschlage zunehmen, so müssen sie sich in allen Ausschlagsstellungen das Gleichgewicht halten, ohne den Isochronismus zu stören, was in der That mit völlig ausreichender Annäherung der Fall ist. Die Amplitude des Ausschlags aber, welche die Stange, ohne die Elasticitätsgrenze zu überschreiten, zulässt, ist eine so grosse, dass sowohl die Kraft absorbirt wird, welche frei wird, sobald das Uhrwerk das Instrument nicht mitnimmt, als auch die zufälligen Änderungen im Widerstande des Instruments ausgeglichen werden. An einem der Räder des Werks befindet sich eine Sekundentheilung zur Prüfung des Ganges.

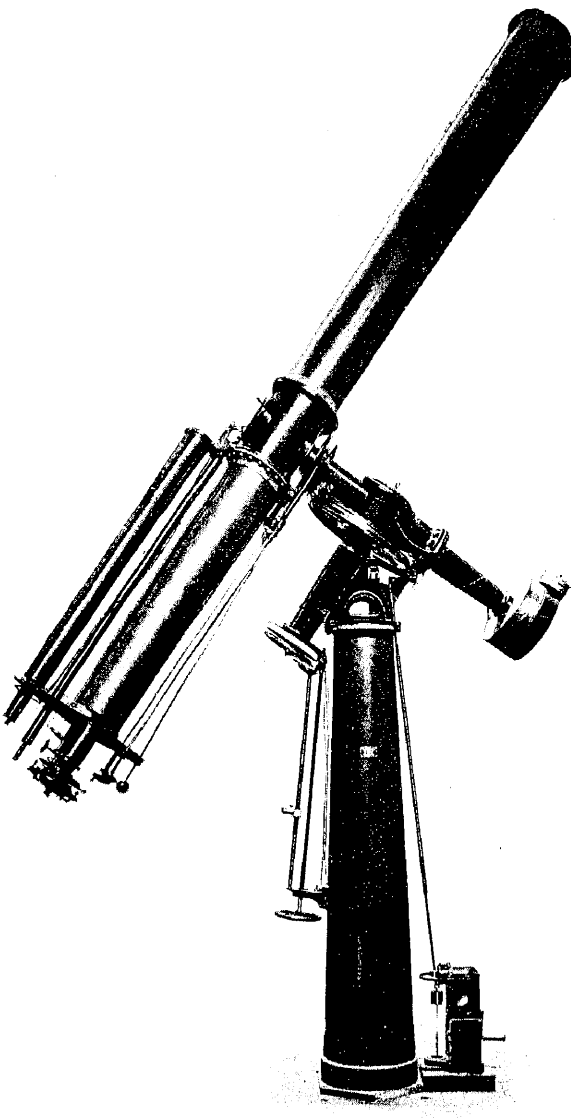


Fig. 1024.

Einer der neuesten der Repsold'schen Refraktoren ist der für die Sternwarte zu Königsberg gebaute, dessen Objektiv bei einer Öffnung von 352 mm 5 m Brennweite besitzt.[1]) Die Montirung ist im Allgemeinen genau der eben beschriebenen, nur in entsprechend kleinerem Maassstabe, nachgebildet, Fig. 1024; sie giebt dem ganzen Instrument ein besonders gefälliges und schlankes An-

[1]) Das Objektiv dieses Refraktors ist aus Jenenser Gläsern von Reinfelder & Hertel hergestellt; es soll sich durch gute Achromasie und Farblosigkeit der Gläser auszeichnen.

sehen. Das Gegengewicht für die Äquilibrirungsrolle der Stundenaxe wird hier durch eine Feder ersetzt, die in dem durchbrochenen Säulenkopf sichtbar ist. Bei einem Theile der von REPSOLD den neueren Heliometern gegebenen Aufstellungen wird diese Rolle (es ist fast immer nur eine vorhanden, wodurch jeder seitliche Druck vermieden wird) durch das kurze Ende eines Hebels emporgedrückt, welcher seinen Stützpunkt unter dem oberen Theil der Stundenaxenbüchse hat und auf dessen unterem Ende durch Vermittelung eines Querstückes zwei Gegengewichte ruhen, vergl. dazu Fig. 573. Die Bewegung der Stundenaxe geschieht durch ein Handrad, welches durch eine längs der Säule verlaufende Welle und ganz einfache Räderübertragung die Drehung bewirkt. Zur Einstellung im Stundenwinkel ist der Stundenkreis durch ein langes, gebrochenes Mikroskop ablesbar.[1])

Die Beleuchtung am Instrument ist für elektrischen Betrieb eingerichtet, wodurch allerdings die vielfachen Reflexionen vermieden werden. Ein besonders langer Sucher ist dem Hauptfernrohre angefügt.

C. Neuere Refraktoren von Merz, Bamberg, Steinheil und Anderen.

An die Vorbilder, welche FRAUNHOFER und die REPSOLDS geschaffen haben, lehnten sich später die Konstruktionen der anderen Werkstätten mehr oder weniger an. So hat z. B. das Institut von MERZ in München die Fraunhofer'schen Einrichtungen nahezu unverändert beibehalten und seine durch besondere Güte und Sorgfalt sich auszeichnenden Objektive zum Theil selbst montirt.

a. Instrumente von S. & J. MERZ, STEINHEIL und REINFELDER & HERTEL.

Die Fig. 1025 zeigt einen kleineren Refraktor von MERZ, welcher wegen seines zum Auseinanderschieben eingerichteten Statifs von Interesse sein dürfte. Das Axensystem ist etwas einfacher gebaut als bei den grossen Refraktoren, welche nach FRAUNHOFER's Tode aus G. MERZ's Händen hervorgingen und von denen der oben näher beschriebene Pulkowaer Refraktor eine übersichtliche Darstellung giebt. Es sind nur kleine Einstellkreise vorhanden, aber auf die Anordnung der Klemmen und Feinbewegungen ist besondere Sorgfalt verwendet, wie auch die Figur leicht erkennen lässt. In der That sind die später für Cambridge, Cincinnati, Moskau, Rom und andere Observatorien gelieferten Instrumente genau dem Pulkowaer nachgebildet.

Als best ausgestatteter, wenn auch nicht grösster Refraktor des Merz'schen Instituts kann wohl der für das Collegio Romano 1868 gelieferte, den Fig. 1026 darstellt, angesehen werden. Die freie Öffnung des Objektivs beträgt 244 mm, während es mit seinem Rande noch etwa 5—6 mm in der Fassung liegt. Die Brennweite ist dabei 4,328 m; es besteht also ein sehr grosses Verhältniss zwischen diesen beiden Zahlen, was die Bildbeschaffenheit zu einer sehr guten macht.

Die Deklinationsaxe trägt bei sonst gleicher Beschaffenheit mit der oben beschriebenen einen erheblich grösseren Kreis als die Stundenaxe. Der

[1]) Die Aufstellung des Wiener Heliometers entspricht ganz der des hier beschriebenen Refraktors.

Stundenkreis dient auch hier noch gleichzeitig zum Eingriff der Bewegungsschraube des Uhrwerkes.[1])

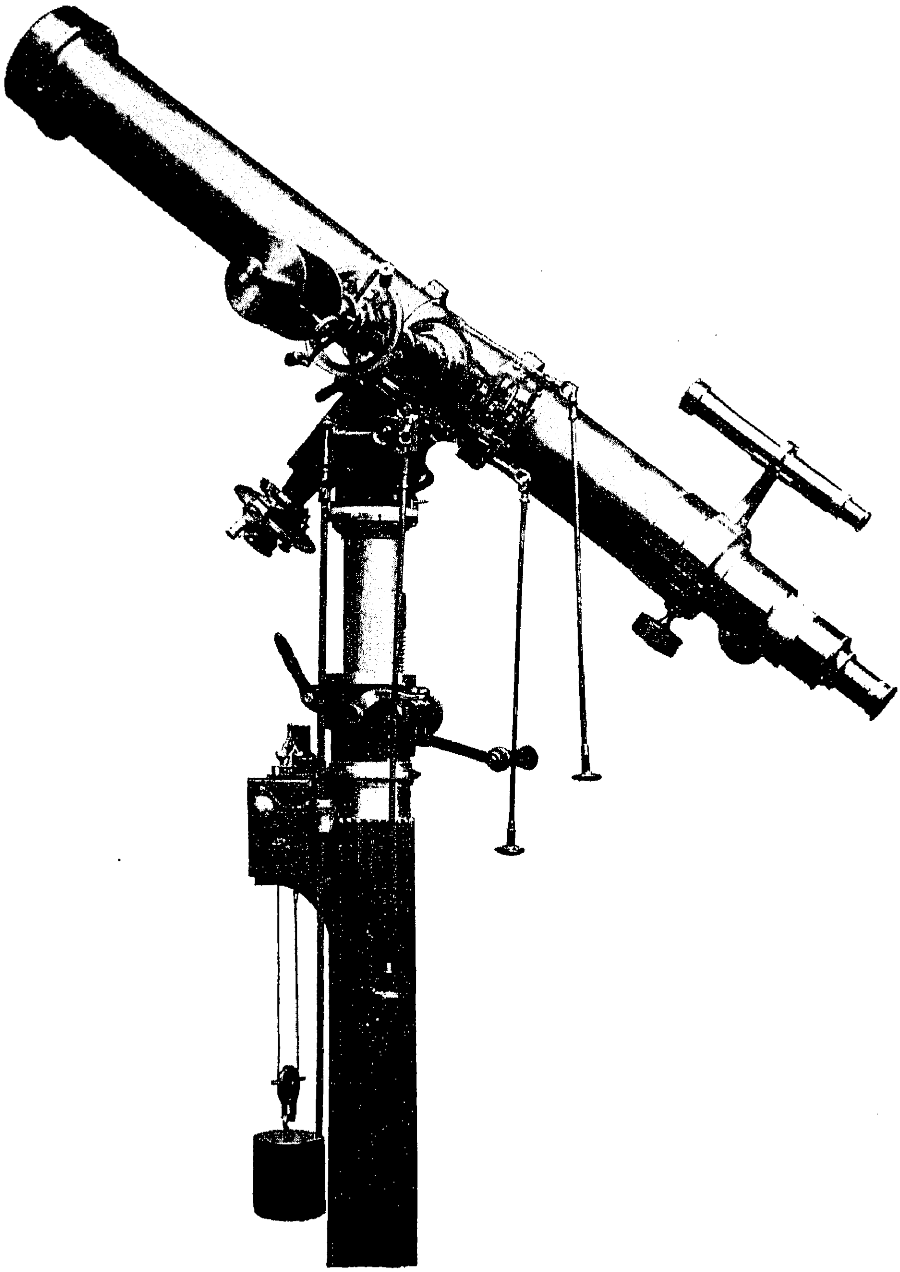


Fig. 1025.

Durch den Ort der Aufstellung bedingt, hat MERZ bei dem Bau eines Refraktors für Quito, Fig. 1027, der Montirung einige Abänderungen geben müssen, die namentlich in der Lagerung der Stundenaxe (dieselbe liegt fast

[1]) Memorie del nuovo Osservatorio del Collegio Romano, Anno 1852—55. Roma 1856.

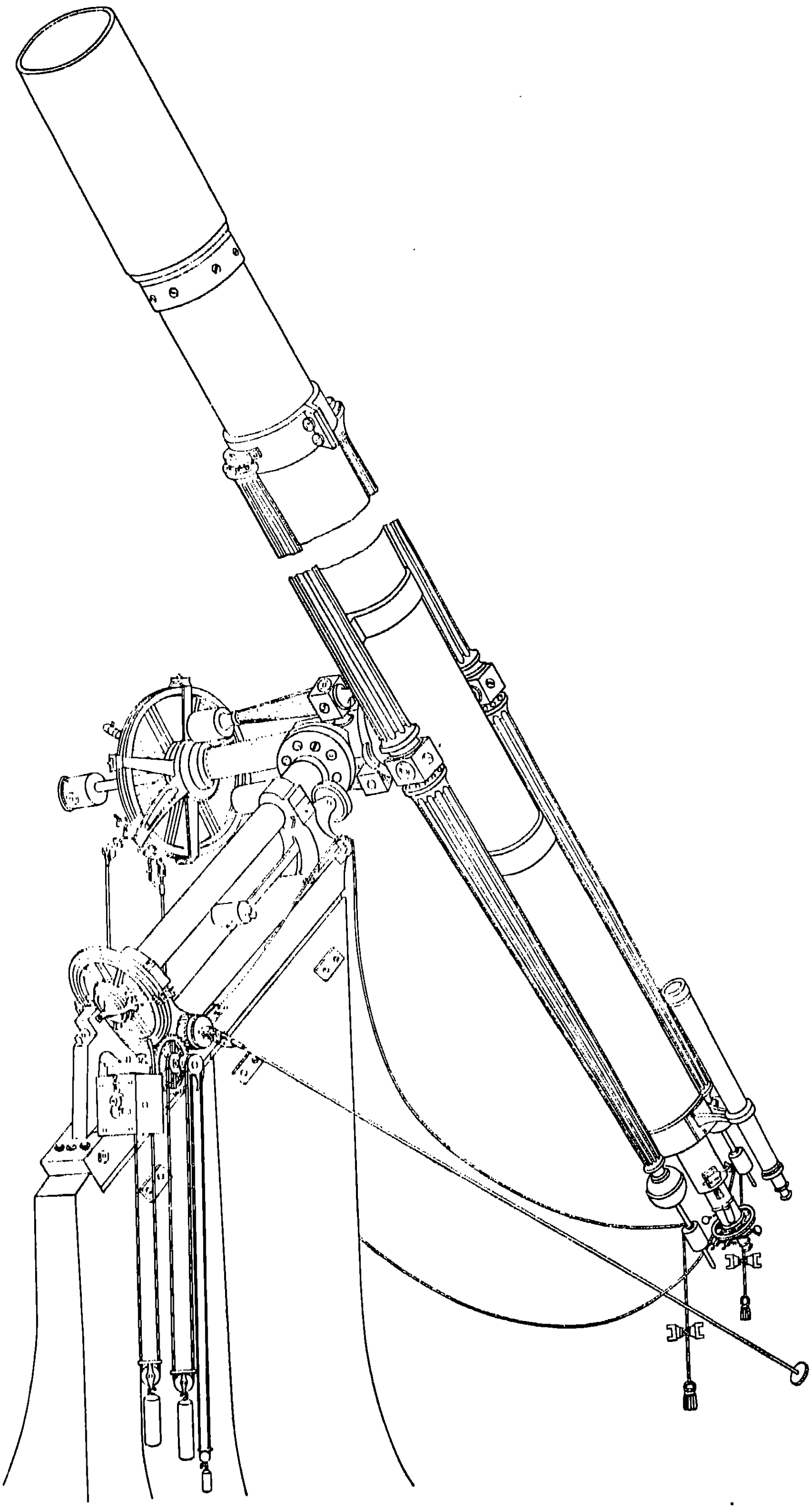


Fig. 1026.

ganz horizontal)[1]) ihren Grund haben. Die Gegengewichte für den Lagerdruck dieser Axe sind in der Öffnung der Säule, Fig. 1027, sichtbar und drücken die Rollen nahe dem Kubus der Deklinationsaxe nach oben. Die Äquilibrirungsstangen längs des Fernrohres sind weggefallen, wie das jetzt allgemein der Fall ist. Das Objektiv hat eine Öffnung von 9 Zoll. Die Axen sind verhältnissmässig sehr kurz gehalten, wodurch das Instrument eine sehr gedrungene und feste Form erhält.

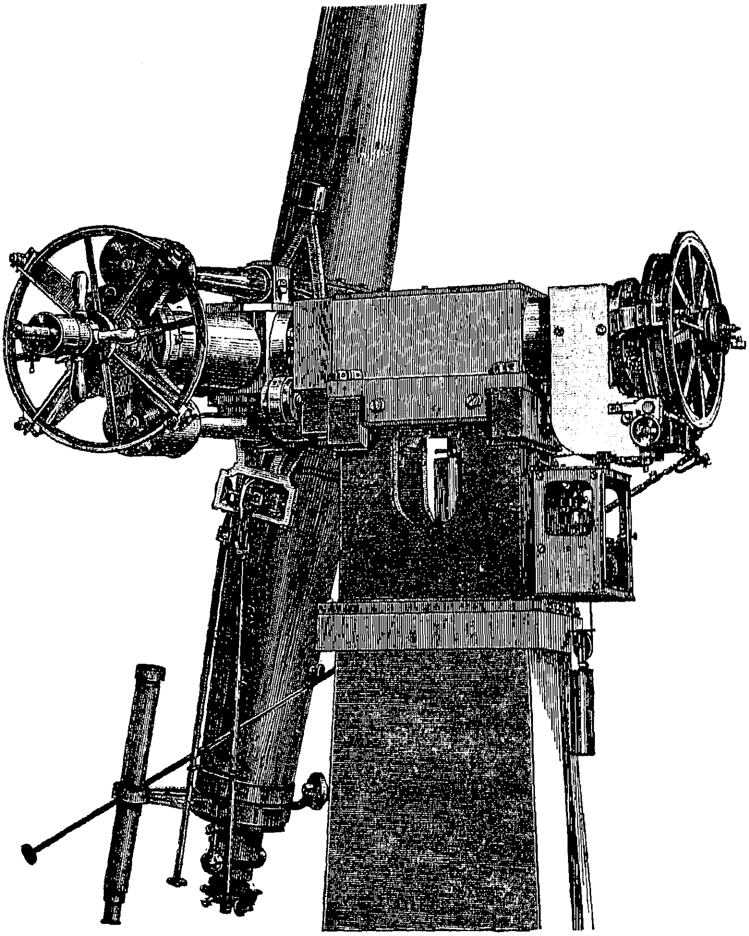


Fig. 1027.
(Nach v. Konkoly, Anleitung.)

Zum ersten Male ist hier die Bewegung der Stundenaxe unabhängig vom Uhrkreis ermöglicht durch Zwischenschaltung einer Klemmung des Uhrkreises auf der Stundenaxe und eines besonderen Stundenkreises, welcher fest mit der Stundenaxe verbunden und durch zwei Verniers ablesbar ist, die ihrerseits an dem Lagerbocke der Stundenaxe befestigt sind.

Wesentlich Fraunhofer'schen Traditionen ist auch C. A. Steinheil bei dem Bau seiner Refraktoren mit parallaktischer Aufstellung gefolgt. Wenn

[1]) Die geographische Breite von Quito ist 0° 14′ Süd.

auch grössere Instrumente nicht montirt wurden, so ist doch die Optik vieler der bedeutendsten Instrumente aus diesem Institute hervorgegangen und namentlich in neuerer Zeit hat die Herstellung der photographischen Objektive eine hervorragende Specialleistung gebildet.[1]) Zum Vergleiche bringe ich in Fig. 1028 die Darstellung eines 8zölligen Refraktors (Kiel), der die Besonderheiten der Steinheil'schen Anordnung gut erkennen lässt. Die Klemmen und Feinbewegungen liegen noch an den Enden der beiden sehr schlank geformten Axen, wodurch namentlich diejenige für die Deklinationsaxe in

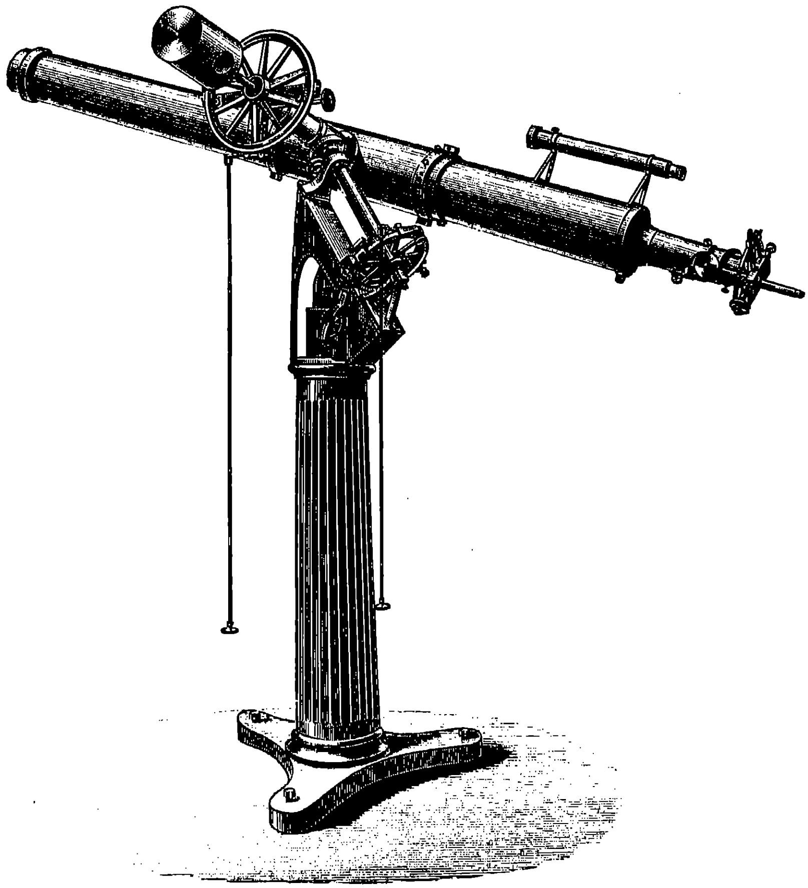


Fig. 1028.
(Aus Konkoly, Anleitung.)

manchen Lagen schwer zugänglich bleibt und auch die sichere Nachführung des Fernrohres etwas beeinträchtigt wird. Dagegen ist die Bewegung des Instruments im Stundenwinkel ohne Ausschaltung des Uhrwerkes durch Anbringen eines besonderen Klemm- und Uhrkreises durchgeführt.

Die sowohl von MERZ als auch von STEINHEIL jetzt ihren Äquatorealen beigegebenen Uhrwerke sind wesentlich stärker gebaut, als es zu FRAUNHOFER's Zeiten der Fall war, auch sind in der Regulirung einige Änderungen

[1]) Vergl. das im Kapitel Fernrohr darüber Gesagte. Die optischen Theile des grossen Potsdamer photograph. Refr. sind auch von Steinheil geliefert worden.

vorgenommen worden, besonders ist das bei den nach R. WEISS's Entwurf gebauten Triebwerken der Fall. An dem oben beim Pulkowaer Refraktor beschriebenen Uhrwerke (wesentlich nach LIEBHERR's Angaben gebaut) hat WEISS neben dem Schleifregulator noch ein Watt'sches Pendel in der in Fig. 1029 dargestellten Weise angebracht. Ist a′ die letzte Axe des eigentlichen Triebwerkes, so greift das auf ihr sitzende Zahnrad E in das Rad F und in das Trieb C′ ein, welche auf den die Regulatoren tragenden Axen sitzen. Damit ist die Verbindung mit der Axe C o′ des gewöhnlichen Schleifregulators hergestellt, während die Axe b b′ den Watt'schen Regulator trägt.

Beim Ausschlage der Kugeln G, G wird der Cylinder m gehoben, er nimmt die bei e drehbar befestigte Stange e d mit auf und ab und dadurch wird durch Vermittelung des Hebels d c d′ die Axe C o′ ebenfalls auf und ab geführt. Da auf dieser der gewöhnliche Schleifregulator sitzt, kommt der-

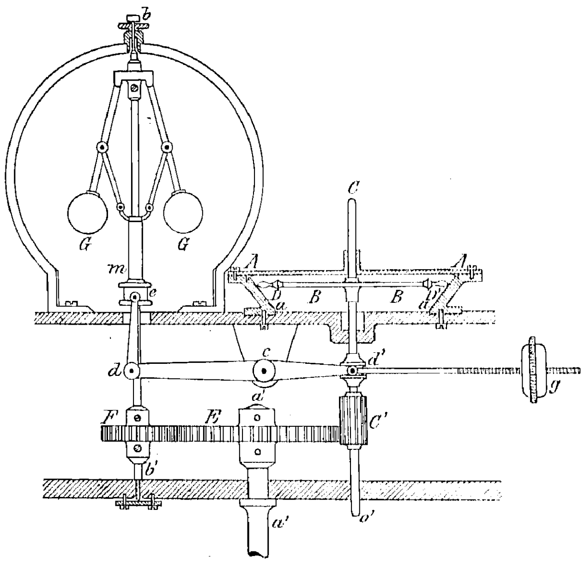


Fig. 1029.

selbe bald an eine engere, bald an eine weitere Stelle des konischen Kastens A a a A, und es werden dessen Scheiben, je nachdem ein grösserer oder kleinerer Kraftüberschuss vorhanden ist, früher oder später zur Berührung mit der Kastenwand kommen. Dadurch ist erreicht, dass bei geklemmtem oder ungeklemmtem Instrument der Uhrgang ein sich gleichbleibender wird. Es ist keine Frage, dass diese Einrichtung, wenn sie auch gegenüber dem Elasticitätspendel der Repsold'schen Triebwerke erheblich komplicirt erscheint, doch bei Benutzung der älteren Uhrwerke einen Fortschritt bedeutete.

Kleinere Instrumente (3—6 Zoll Öffnung) werden gegenwärtig in grosser Vollkommenheit von REINFELDER & HERTEL ebenfalls fertig montirt. Die Fig. 1030 u. 1031 stellen zwei Instrumente aus dieser Werkstätte dar.

Es dürfte nach den bereits gegebenen Erläuterungen kaum nöthig sein, eingehender deren Einrichtungen zu schildern, und mögen die nebenstehenden Figuren hier genügen. Die leichte Transportfähigkeit ist ein Hauptvorzug

dieser Instrumente. Es wird dieselbe besonders ermöglicht durch die sehr kompendiöse Konstruktion der Axensysteme, bei denen alles nicht unbedingt Erforderliche in Wegfall gekommen ist. In dieser Beziehung ist namentlich auf das in Fig. 1030 dargestellte Instrument hinzuweisen, bei dem die Stundenaxe und die Büchse für die Deklinationsaxe aus einem einzigen Gussstücke bestehen, während wiederum die Büchse der Stundenaxe mit einer zweiten Büchse ein Gussstück bildet, welches sich um eine Vertikalaxe dreht, die auf dem einfachen Dreifuss montirt ist.

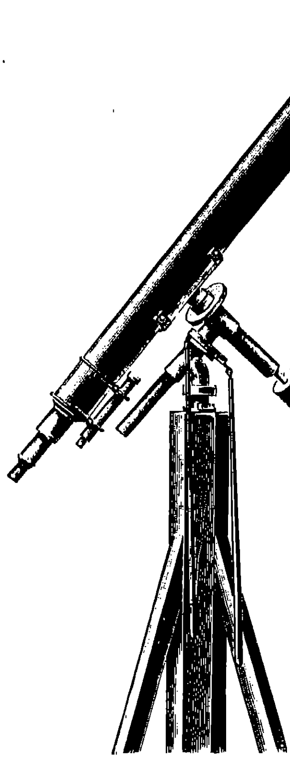


Fig. 1030.

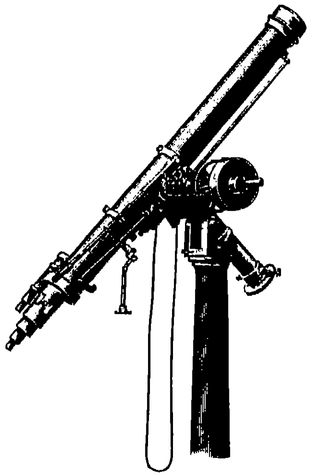


Fig. 1031.

b. Refraktoren von Bamberg, Heyde, Heele und Anderen.

Eine Veränderung der Lage der Stundenaxe entsprechend der Polhöhe verschiedener Beobachtungsorte ist ähnlich den später noch zu besprechenden Grubb'schen Anordnungen in dem in Fig. 1032 dargestellten, transportablen Refraktor von J. Kohl in Heidelberg (für M. Wolf gefertigt) vorgesehen. Die Abbildung giebt zugleich eine denkbar einfachste, parallaktische Aufstellung ohne Kreise und mit ganz einfacher Radialklemme, nur zum Gebrauche bei der Aufsuchung interessanter Objekte aus freier Hand.[1])

Wesentlich weitergehenden Ansprüchen kommen aber wieder die Montirungen von C. Bamberg und diejenigen, welche G. Heyde seinen grösseren Instrumenten zu geben pflegt, entgegen. Fig. 1033 stellt einen Bamberg'schen 7zölligen Refraktor dar, wie er für die Sternwarte in Jena ausgeführt wurde. Die theilweise als Querschnitt entworfene Zeichnung lässt die Anordnung der einzelnen Theile erkennen, deren Bestimmung sowohl nach den obigen ausführlichen Beschreibungen der Repsold'schen Refraktoren, als auch mit Rücksicht auf die sogleich folgenden Angaben über den aus demselben Institute stam-

[1]) Mit veränderlicher Polhöhe kostet die Montirung nur 125 Mark, ohne diese Einrichtung sogar nur 60 Mark.

menden 12zölligen Refraktor der Urania-Sternwarte, Fig. 1034, leicht verständlich sein werden.[1]) Allerdings sind sowohl die Äquilibrirungseinrichtungen als auch das sonstige Zubehör der Montirung bei letzterem Instrumente vollständiger und daher komplicirter. Das kleinere Instrument giebt aber einen vorzüglichen Anblick einer typischen „Deutschen" Montirung. Das sehr stark gebaute Rohr des 12Zöllers ist aus drei Theilen zusammengesetzt, von denen die beiden äusseren gleichmässig konisch, der mittlere dagegen im Allgemeinen cylindrisch geformt, aber durch starke Rippen noch wesentlich versteift ist. Die Deklinationsaxe ist verhältnissmässig kurz und mit schwerem Gegengewicht versehen. Die Entlastung der Lager dieser Axe erfolgt ähnlich der Fraunhofer'schen resp. Merz'schen Einrichtung durch zwei Hebelsysteme, welche in einen die Deklinationsaxe nahe dem Fernrohr umfassenden Rollenkranz eingreifen. Zwischen diesem und der Ansatzfläche für das Fernrohr sind die der Repsold'schen Anordnung ähnlichen Klemmen und Übertragungsräder angebracht. Die Äquilibrirung mit Bezug auf das obere Lager der Stundenaxe erfolgt zum Theil durch ein schweres Gewicht an dem unteren Ende, zum Theil aber auch zugleich mit der Unterstützungsrolle für das ganze Instrument, ähnlich wie bei dem Strassburger 18zölligen Refraktor. Obgleich die Kreise nicht zum Messen dienen sollen, ist doch in beiden Koordinaten mikroskopische Ablesung vorgesehen.[2]) Die Uhrschraube greift nur in einen Sektor eines Uhrkreises ein, da bei dem grossen Radius, welcher diesem gegeben wurde, derselbe oberhalb und seitlich der Stundenaxe nicht hätte untergebracht werden können. Die Wahl eines möglichst grossen Radius für den Uhrkreis ist aber, wie sofort einzusehen, wünschenswerth, um die Kraft des Uhrwerkes nicht zu hoch treiben zu müssen. Aus diesem Grunde finden wir bei vielen kleinen und auch grossen (namentlich englischen) Instrumenten nur solche Sektoren in Anwendung. Es ist dadurch der ununterbrochenen Bewegung natürlich eine gewisse Grenze gesteckt. Durch Ausschalten der Uhrschraube und einfaches Zurückdrehen des Sektors kann dieser Nachtheil aber leicht gehoben werden. Dagegen ist aber eine schnellere und eventuell ungleichförmige Abnutzung des Zahnbogens nicht zu vermeiden. (Auch die

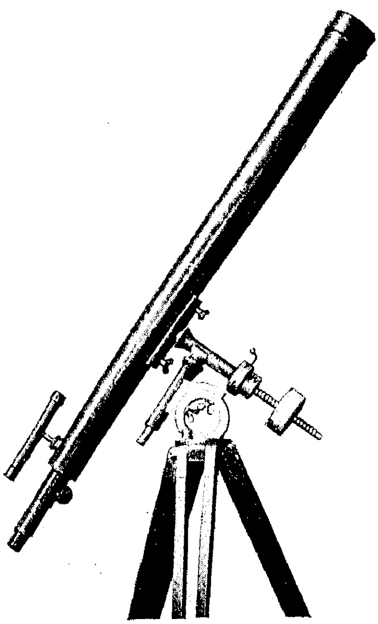


Fig. 1032.

---

[1]) Die Angaben über den Refraktor der „Urania"-Sternwarte verdanke ich der Güte des Herrn Witt (vergl. dazu „Himmel und Erde", Jahrg. VII).

[2]) Die Mikroskope für den Deklinationskreis liegen längs des Fernrohrs und sind in ihrer Länge veränderlich eingerichtet und mit prismatischem Okular versehen, damit sie in jeder Lage und für jeden Gebrauch des Instrumentes leicht zugänglich bleiben.

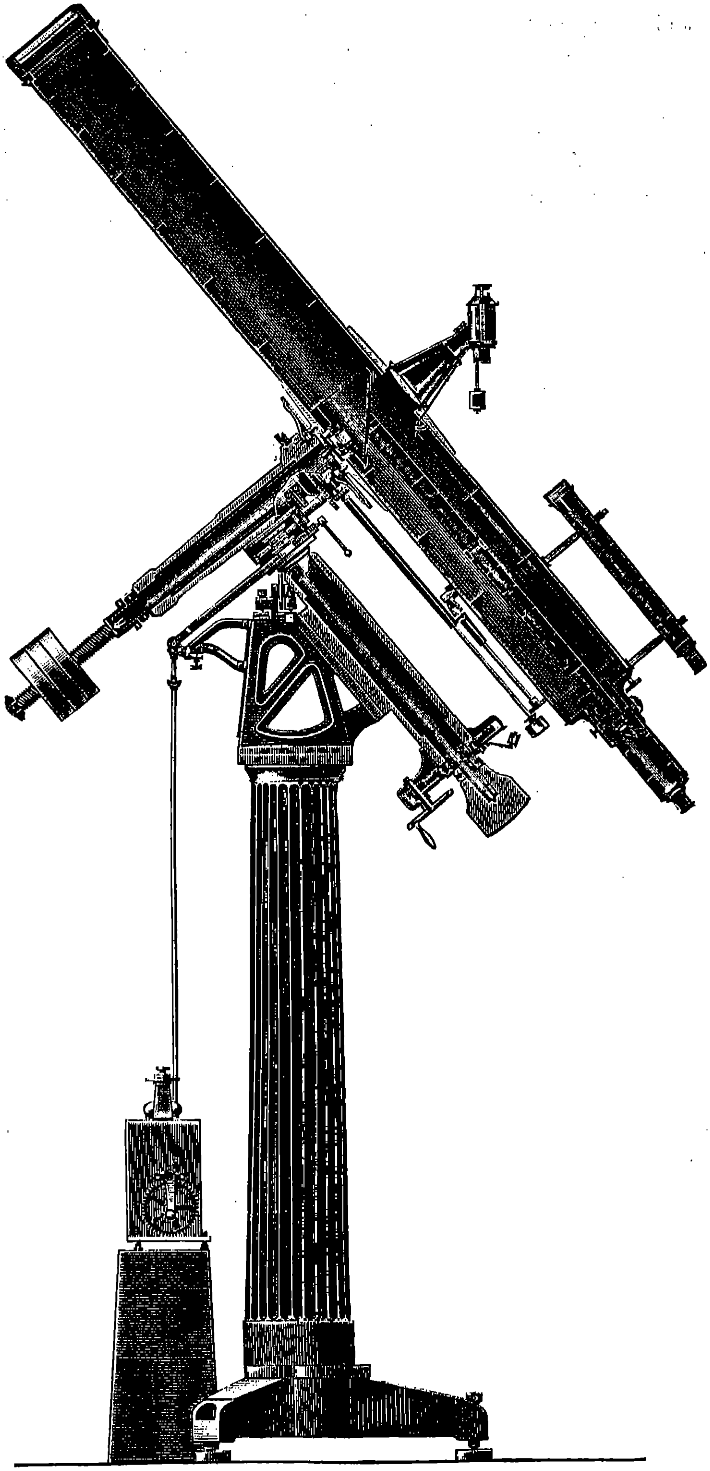


Fig. 1088.

kleineren Repsold'schen Montirungen haben nur solche Sektoren. Siehe Fig. 327 u. 497.)

Das treibende Uhrwerk ist für elektrischen Betrieb eingerichtet und ganz dem des Genfer Refraktors nachgebildet und ebenso wie dieses von der mehrfach erwähnten Société genevoise etc. konstruirt worden. Es ist A in der schematischen Fig. 1035 der die Windungen tragende, um eine Vertikalaxe sich drehende Anker eines einfachen Motors, der durch drei Akkumulatorzellen betrieben werden kann; bei B liegen die Bürsten an, welche die Stromzuführung aus der die Polschuhe C, C durchlaufenden Leitung vermitteln. In den Stromkreis ist eine Messingstange S eingefügt, auf welche der Strom durch die Schraube K übergeht. Die Stange umfasst mit einem isolirten Ringe den unteren beweglichen Theil des mit einer Vertikalaxe des



Fig. 1034.

Uhrwerks sich drehenden Regulators R. Dieser besteht aus der Büchse a und den beiden Federn f, an denen die Kugeln k befestigt sind; bei langsamerer resp. schnellerer Rotation werden, wie beim Watt'schen Pendel, diese Kugeln nach innen resp. nach aussen und damit der Ring r nach unten resp. nach oben bewegt. Die Messingstange GS, die sich um eine Axe bei G dreht, wird damit der Schraube K bei c genähert resp. von ihr entfernt, der Kontakt hergestellt oder unterbrochen und damit die rotirenden Theile wieder mit neuem Antrieb versehen oder dieser Antrieb aufgehoben.

Das Spiel der regulirenden Vorrichtung wird damit klar sein. Im Übrigen zeigt die Erfahrung, dass dieselbe sehr gut funktionirt und bei

einer überschüssigen Stärke des elektrischen Stromes selbst kleine Bewegungsstörungen überwunden werden.[1])

Zur Veranschaulichung der Konstruktion, wie sie G. Heyde auszuführen pflegt, mag die Fig. 1036 dienen. Es wird zu den Axen sowohl, als zu den Lagertheilen durchweg Stahl verwendet, und Zapfen und Lagerflächen werden aber noch besonders gehärtet. Bei grösseren Instrumenten ist auch die Entlastung der Polaraxenlager bezüglich aller beweglichen Theile durch geeignete Friktionsrollen ausgeführt, von weiteren Äquilibrirungen jedoch bei den bis jetzt gebauten Instrumenten (bis etwa 8 Zoll) abgesehen worden. Die Optik der Heyde'schen Instrumente stammt meist von Reinfelder & Hertel. Im

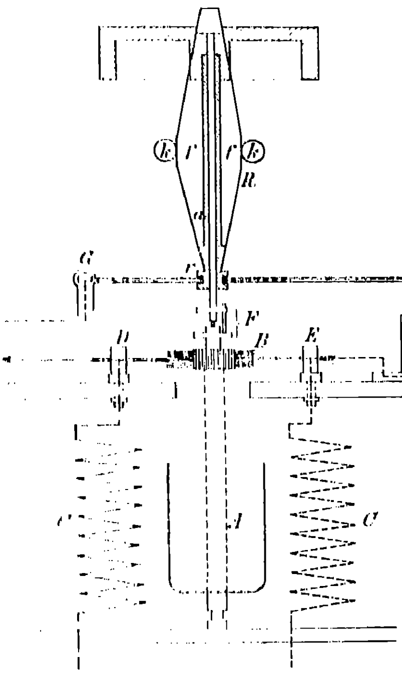


Fig. 1035.

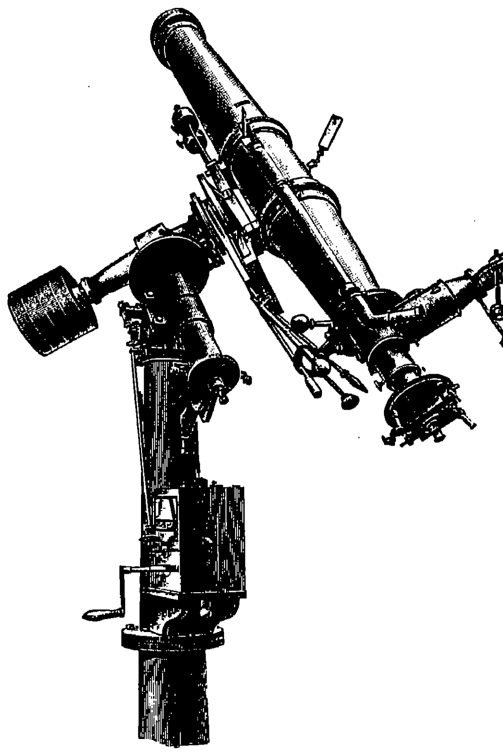


Fig. 1036.

Übrigen kann aber füglich auf das früher schon Beigebrachte verwiesen werden, da Heyde alle neueren Verbesserungen bezüglich Klemm- und Feinbewegungseinrichtungen, welche schon ausführlich beschrieben worden sind, soweit es die Dimensionen der Instrumente räthlich erscheinen lassen, eingeführt hat.

In mancher Beziehung abweichend von den bisher erläuterten Konstruktionen, hat neuerdings H. Heele in Berlin einige Instrumente montirt. Das Wesentliche seiner Einrichtungen mag daher hier noch mitgetheilt werden. Die betreffenden Theile sind in der Skizze 1038 dargestellt, während Fig. 1037

[1]) Dazu ist zu vergleichen: Le système de Saturne par M. W. Meyer (Memoire de la société de physique et d'histoire naturelle de Genève 1884. S. 18ff.) u. Journal Suisse d'horologerie, April 1882.

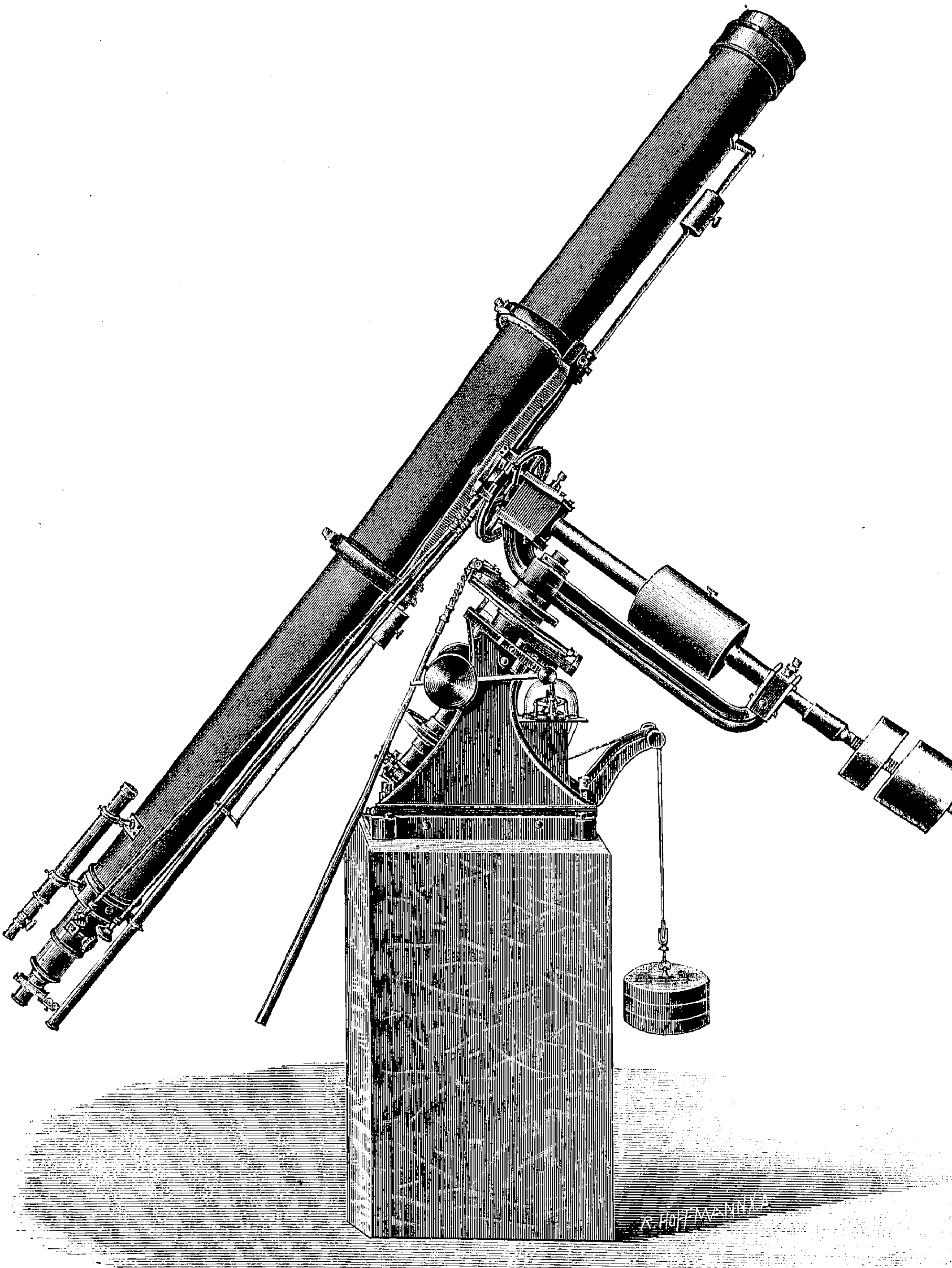


Fig. 1037.

die Gesammtansicht eines solchen Instruments giebt. Der leichteren Übersicht wegen sind in der Skizze Kreis und Klemme weggelassen und an der Stundenaxe S nur der Uhrkreis und die Klemmtheile für die unabhängige

Bewegung angedeutet. Die Axe S läuft unten in einen kugeligen Knopf aus und ruht in einem entsprechenden Lager, welches eine Korrektur im Sinne des Azimuths und der Polhöhe zulässt, an Stelle des oberen Zapfens tritt der sphärisch abgedrehte Theil L′, der in einer Kugelpfanne gelagert ist. Die Deklinationsaxe DD trägt an dem rechtsgelegenen Ende die Platte k, an welcher die Schiene FF mit der Fernrohrwiege mittelst der Schrauben r r derart festgeschraubt ist, dass sie sich um eine kleine, cylindrische Welle o zur Korrektur des Kollimationsfehlers etwas drehen lässt. Bei L ist die stählerne Axe zu einer Kugel ausgebildet, die in einem zweitheiligen Lager ruht. Das andere Axenende ist cylindrisch gehalten und läuft ebenfalls in einem zweitheiligen, einer Schraubenkluppe ähnlichen Lager. G ist das Gegengewicht für das Fernrohr in Bezug auf das Lager L, und G′ dient zur Ausgleichung der Momente des ganzen Obertheils mit Bezug auf die Stundenaxe.

Ein Refraktor, der wohl nicht gerade durch Eleganz der Aufstellung hervorragend ist, der aber seiner Zeit durch private Mittel beschafft, der grösste in Deutschland, und durch die Resultate, die mit ihm erzielt wurden, bemerkenswerth genug sein dürfte, um hier noch eine Darstellung zu finden, ist der von H. SCHRÖDER in den 70er Jahren für die Sternwarte zu Bothkamp gebaute, den Fig. 1039 zeigt.[1])

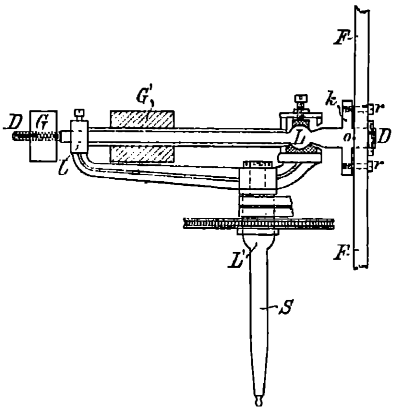


Fig. 1038.

Das Fernrohr, dessen freie Objektivöffnung 293,5 mm beträgt, wird von einer Gusseisensäule getragen, welche einen glockenartigen, mit drei zur Korrektion der Aufstellung dienenden Stellschrauben versehenen Fuss besitzt. Auf der 2,6 m hohen Säule ist der aus einem Stück gegossene, ringsum geschlossene Kasten für die Stundenaxe befestigt. Die Stundenaxe ist aus Gussstahl gefertigt und läuft in glasharten Gussstahllagern, wovon das obere konisch, das untere cylindrisch ist. Der untere Theil der Axe ist plangeschliffen und ruht auf einem Chalcedon. Da die Friktionsrolle, welche unterhalb des Schwerpunktes der Stundenaxe und der daran befestigten Deklinationsbüchse ihren Angriffspunkt hat, senkrecht zur Stundenaxe wirkt, so lastet auf dem Stein der ganze in der Längsrichtung der Stundenaxe wirkende Druck. Die Deklinationsaxe ist aus demselben Material hergestellt und auf dieselbe Weise geführt wie die Stundenaxe; auch hier wirkt der, in allen Lagen des Instruments ausserhalb des Meridians, in der Längsrichtung dieser Axe vorhandene Druck gegen einen Chalcedon. Der Schwerpunkt der Deklinationsaxe nebst dem daran befindlichen Fernrohr liegt dicht an

[1]) H. C. Vogel, Beobachtungen, angestellt auf der Sternwarte des Kammerherrn von Bülow zu Bothkamp, Heft 1. Leipzig 1872. Ebenso ist auch der jetzt in Bamberg befindliche Refraktor von Schröder montirt.

dem, dem Rohr zunächst liegenden Lager; um denselben in die Verlängerung der Stundenaxe zu bringen, sitzen die zur Kontrebalancirung dienenden Lasten auf der Deklinationsbüchse und sind nicht auf der Axe selbst angebracht, um dadurch eine grössere Durchbiegung der letzteren zu vermeiden. Die Senkrechtstellung beider Axen auf einander, sowie die des Rohres gegen

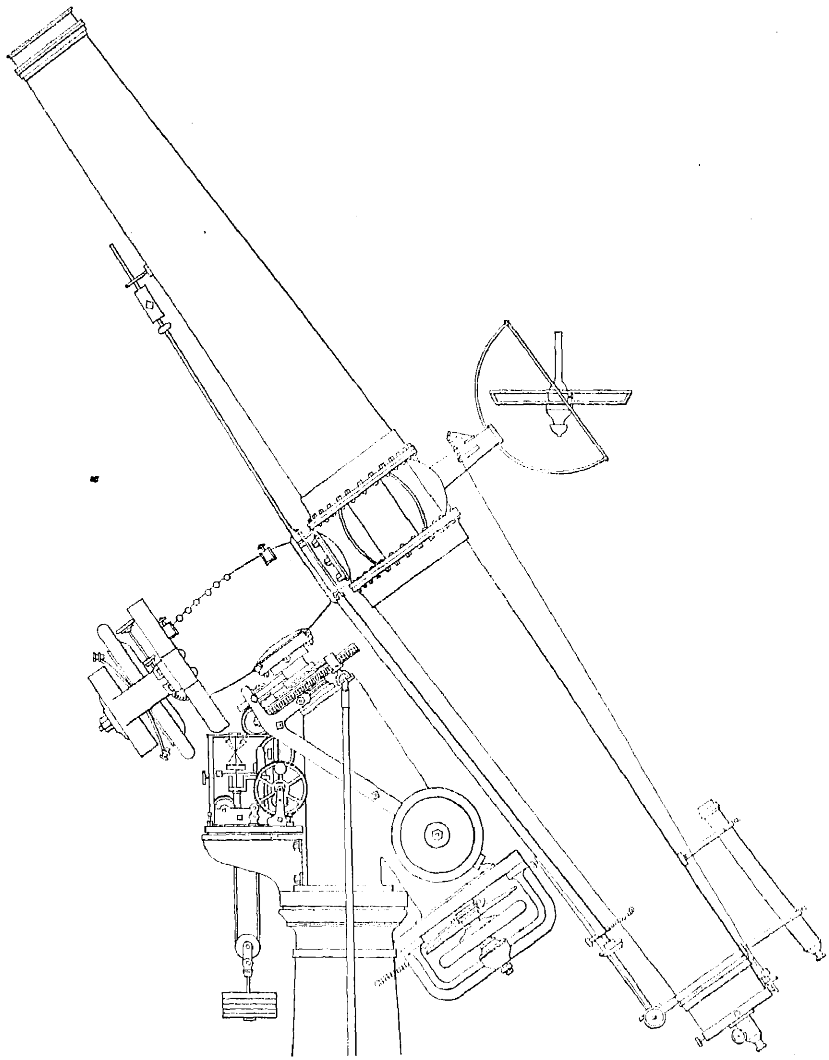


Fig. 1039.

die Deklinationsaxe geschieht mit Hülfe von je vier Stahlkeilen, welche durch Schrauben verstellbar sind.

Das mit der Deklinationsaxe verbundene cylindrische Mittelstück des Rohres besteht aus Gusseisen und ist durch Rippen verstärkt. An diesem Stück sind zwei gleich lange, ganz symmetrische, nach beiden Enden konisch zulaufende Rohre angeschraubt. Sie sind aus 2 mm starkem Kupferblech zusammengelöthet und über einen konischen Dorn gewalzt worden, wodurch ihnen neben grosser Widerstandsfähigkeit der Vortheil geringer Spannung

verliehen werden sollte und die Durchbiegung an beiden Seiten nahe gleich gross angenommen werden kann.

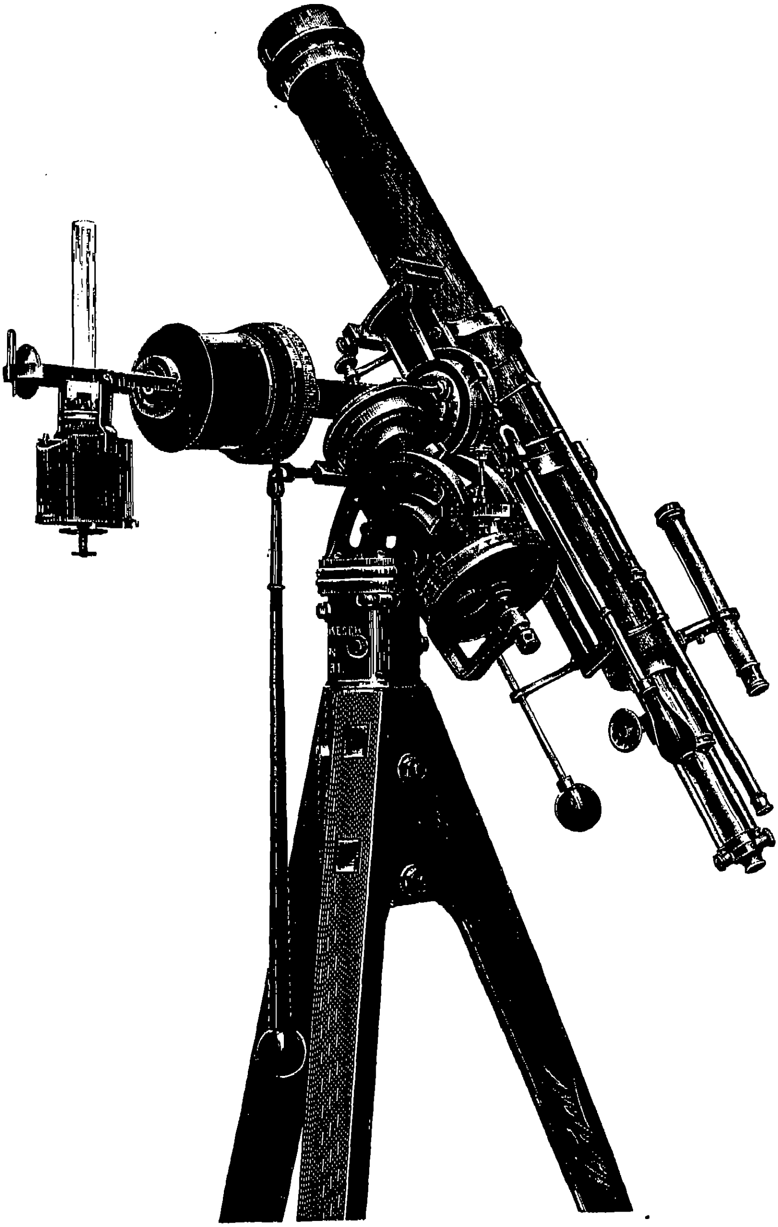


Fig. 1040.

Die auf dem, dem Rohre gegenüber befindlichen, 480 mm im Durchmesser haltenden Deklinationskreise auf Silber ausgeführte Theilung von 10′ zu 10′ gestattet mit Hülfe zweier Nonien eine Ablesung bis auf 10″.

Der am unteren Ende der Stundenaxe befestigte Stundenkreis hat einen Durchmesser von ebenfalls 480 mm, er ist in Zeitminuten getheilt, und mittelst der Nonien können noch 2^s abgelesen werden.

Die Feinstellung in Deklination geschieht durch eine Druckschraube und Gegenfeder. Die Bewegung in Rektascension wird durch Zahnkranz und Schraube bewirkt und kann sowohl mit der Hand, als durch ein Uhrwerk bewerkstelligt werden.

D. Refraktor mit Universalstativ von Fritsch.

Da wohl ab und zu die Absicht bestehen kann, ein Fernrohr sowohl parallaktisch als auch horizontal montirt zu benutzen, mag hier noch auf die oben schon beschriebene und abgebildete Aufstellung von Fritsch in

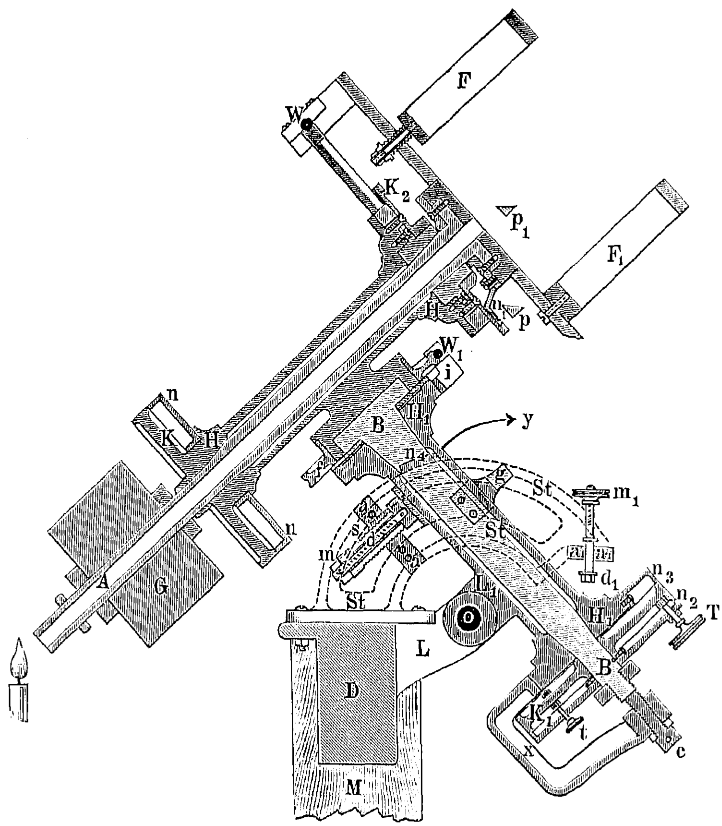


Fig. 1041.

Wien (S. 300) hingewiesen werden. Zur weiteren Erläuterung gebe ich in Fig. 1040 einen auf diese Weise montirten 4-Zöller. Für grössere Instrumente dürfte allerdings eine solche Komplikation nicht zweckmässig, aber auch kaum ausführbar werden. Bezüglich der Einstellung im Stundenwinkel hat Fritsch eine Neuerung eingeführt, welche noch kurz mit Bezug auf die Fig. 1041, welche einen Querschnitt darstellt, erläutert werden soll, da sie sich neueren amerikanischen und englischen Anordnungen anschliesst.[1])

Auf dem freien Ende der Stundenaxe B sitzt der Stundenkreis K_1 lose, aber mit genügender Reibung, um mitgenommen zu werden. Der Nonius n_3

[1]) Zeitschr. f. Instrkde, 1893. S. 273.

sitzt auf der Hülse H_1 fest, während der Nonius n_2 mit der Stundenaxe fest verschraubt ist, also von dieser mitgenommen wird. Im Innern des Stundenkreises ist koncentrisch am Rande ein Zahnrad angebracht, in welches ein kleines Rädchen eingreift, das sein Lager im Nonienträger n_2 hat und mittelst des Triebkopfes T gedreht werden kann.

Es wird nun die Rektascension des Sternes durch Drehen des Kreises K_1 am beweglichen Nonius n_2, dann durch Drehen des ganzen Instrumentes (der Kreis K_1 geht auf der Axe mit und kann noch insbesondere durch die Klemmschraube t mit n_2 fest verbunden werden) die augenblickliche Sternzeit am festen Nonius n_3, vom Nullpunkt des Kreises K_1 aus gezählt, eingestellt. Da Stundenwinkel + Rektascension = Sternzeit ist, so hat man gleichsam das ganze Instrument nur um den Stundenwinkel aus der Meridianlage gedreht, und der Stern befindet sich im Gesichtsfeld, wenn vorher auch die Deklination des Sternes auf dem Kreise K oder K_2 richtig eingestellt wurde. Der Kreis K_1 trägt natürlich am oberen und unteren Rande zwei korrespondirende Theilungen, von denen die eine durchlaufend von 0 bis $XXIII^h$ und die andere von 0 bis 355^0 beziffert ist. Für den Gebrauch des Instrumentes in der Theodolitstellung wird K_1 mit n_2 durch t, wie früher angedeutet, fest verbunden, nachdem der Nullpunkt von K_1 mittelst Trieb T in den Meridian gebracht wurde.

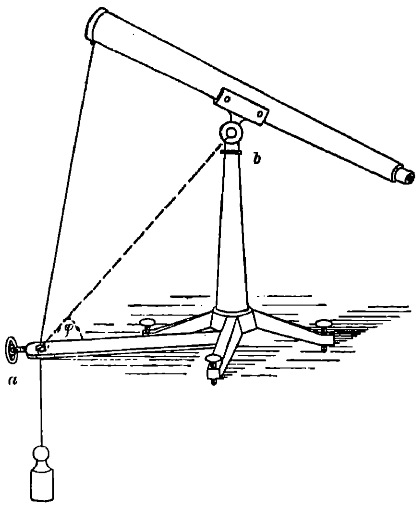


Fig. 1042.

Einige der aus diesem Institute hervorgegangenen Brachyteleskope mit ihren Montirungen sind schon in den Fig. 401 u. 402 zur Darstellung gelangt.

Um auch mit gewöhnlichen, kleinen Fernrohren, die nur um ein einfaches Horizontalsystem drehbar sind, bei Gelegenheit ein Gestirn bei der täglichen Bewegung verfolgen zu können, hat Lord CRAWFORD eine sehr einfache Anordnung getroffen. Er brachte unter der Vertikalaxe des Instruments, Fig. 1042, in der Meridianrichtung eine Leiste von solcher Länge an, dass die Verbindungslinie a b gegen den Horizont um einen der geographischen Breite φ gleichen Winkel geneigt ist. Wird nun vom Objektivende eine Schnur durch eine Öffnung bei a hindurch geleitet und mit einem Gewicht straff gehalten, so wird, nachdem man das Fernrohr auf ein Gestirn gerichtet hat, und die Schnur bei a durch eine Schraube geklemmt worden ist, bei Bewegung des Fernrohres um die Vertikalaxe die Gesichtslinie sehr nahe der täglichen Bewegung der Gestirne folgen.[1])

[1]) Vergl. Chambers, Handbook of Pract. Astron. II, S. 65.

E. Refraktoren aus englischen Werkstätten.

Wie schon oben erwähnt, wählt man jetzt auch in den ausserdeutschen Werkstätten für die Aufstellung von Refraktoren mittlerer und grosser Dimensionen fast ausschliesslich die deutsche, äquatoreale Montirung, nur solche kleinerer Dimension pflegt man einfach azimuthal aufzustellen, namentlich dann, wenn dieselben leicht transportabel sein sollen. Das hervorragendste Institut Grossbritanniens ist in dieser Beziehung wohl dasjenige von Sir Howard Grubb in Dublin.

a. Instrumente von H. Grubb.

Die Fig. 1043 stellt ein kleineres Instrument Grubb's dar und zeigt eine Montirung, wie er sie für Teleskope von 4—5 Zoll Öffnung zu bauen pflegt. Auf einer starken, aus zwei sich kreuzenden Rippen bestehenden Säule ist zu-

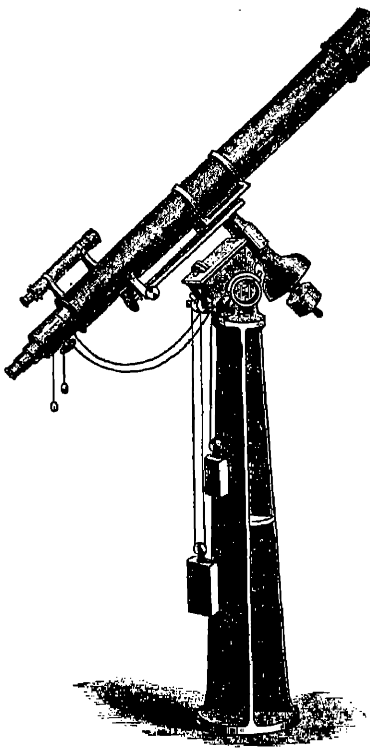


Fig. 1043.

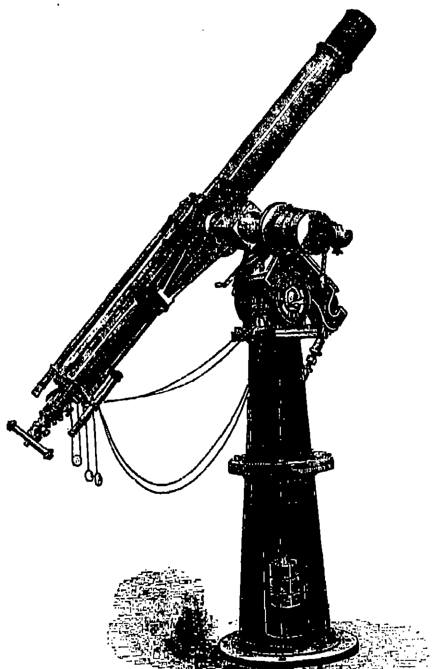


Fig. 1044.

nächst ein oben in einen horizontalen Cylinder endender Kopf aufgesetzt, welcher zugleich eine Azimuthkorrektion zulässt. Darauf ruht mit einem cylindrischen Schlitten (etwa $^1/_3$ des Umfanges) und zwecks verschiedener Polhöheneinstellung verschiebbar, der Kasten für die Stundenaxe. Ein einfacher Uhrkreis, der in der Fig. 1043 aus der planen Deckplatte hervorragt, vermittelt den Eingriff eines sehr einfach gebauten Triebwerkes und dient gleichzeitig zur Klemmung der Stundenaxe. Mit dieser aus einem Stück ist die Büchse für die Deklinationsaxe hergestellt. Dieselbe trägt auf der einen Seite eine Scheibe für die Klemme

des Fernrohrs, während sie auf der anderen Seite stark erweitert ist, wodurch zugleich ihre grosse Masse als Gegengewicht ausgenutzt wird. Die sehr kurze Deklinationsaxe durchsetzt diese Büchse und nimmt an dem einen Ende die Lagerringe für das Fernrohr auf, während am freien Ende ein kleines Gegengewicht zur Ausgleichung des Lagerdruckes in der Deklinationsbüchse angesetzt ist. Im Übrigen weicht die Konstruktion nicht von früher beschriebenen Instrumenten ähnlicher Grösse ab, und die Figur giebt einen guten Überblick der Gesammtanordnung. Für Fernrohre von 6—10 Zoll Öffnung pflegt Grubb, ohne die Möglichkeit der Polhöhenänderung aufzugeben, eine wesentlich höheren Anforderungen an Stabilität entsprechende Aufstellung zu wählen. Eine typische Darstellung einer solchen Montirung giebt Fig. 1044.

Das Stativ, als schwach konische, zweitheilige, hohle Säule gebildet, trägt einen dem eben beschriebenen Instrument sehr ähnlichen Kopftheil und darauf, um einen bestimmten Winkel verschiebbar, den ebenfalls ähnlich gebauten und nur wesentlich schwerer gehaltenen Kasten für die Stundenaxe. Die Korrektion in Polhöhe wird hier aber durch eine besondere Schraubeneinrichtung bewirkt, welche einerseits am unteren Ende des Kastens und andererseits an der Säule angreift. Der Schwere des Obertheiles entsprechend, ist die Stundenaxe balancirt; sie endet oben in einen würfelförmigen Theil, welcher im Verein mit zwei seitlich angegossenen Konen die Büchse für die Deklinationsaxe bildet. Diese ebenfalls kurz und wie alle Axen der Grubb'schen Instrumente sehr stark gehalten, ist durchbohrt, um das Licht der an ihrem freien Ende cardanisch aufgehängten Lampe nach der Ablesestelle der Kreise und in das Gesichtsfeld gelangen zu lassen. Der Deklinationskreis ist mit der Axenbüchse verbunden und kann durch ein längs des Fernrohres liegendes Mikroskop abgelesen werden. Der dazu erforderliche Index ist mit der Wiege des Fernrohrs verbunden. Die Klemmeinrichtungen, sowie die Art der Feinbewegung, geht aus der Figur deutlich hervor.[1])

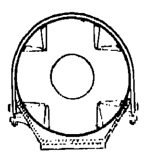
Je grösser und schwerer die einzelnen Instrumententheile werden, desto komplicirter müssen, wie wir gesehen haben, auch die Einrichtungen werden, welche die freie und leichte Bewegung der Fernrohre gewährleisten. Grubb hat in dieser Richtung bei seinen grössten Instrumenten, namentlich wegen der sehr grossen und schweren Form, welche er den Axen zu geben pflegt, ganz besondere Einrichtungen getroffen, welche aus rein mechanischen Gründen von erheblichem Interesse sind und in mancher Beziehung an die des oben beschriebenen Gothaer Äquatoreals erinnern, wenn sie auch im Einzelnen wesentlich davon verschieden sind. Es mag daher das grosse Äquatoreal, welches Grubb Ende der 70er Jahre für die K. K. Sternwarte in Wien fertigte, als der Repräsentant dieser Montirungen hier an der Hand einiger Figuren noch etwas eingehender beschrieben werden.[2])

Den Pfeiler des Instruments, Fig. 1045, bildet ein grosser, eiserner Kasten B, B, welchem durch starke Rippen grosse Stabilität gegeben ist. Der horizontale Querschnitt ist ein Rechteck mit abgerundeten Ecken. Nach

---

[1]) Vergl. Fig. 499 auf Seite 494.

[2]) Das Instrument wurde 1875 bestellt, 1878 wurde die Montirung, aber erst im Sommer darauf das Objektiv fertig.



Schnitt A-B
Fig. 1045a.

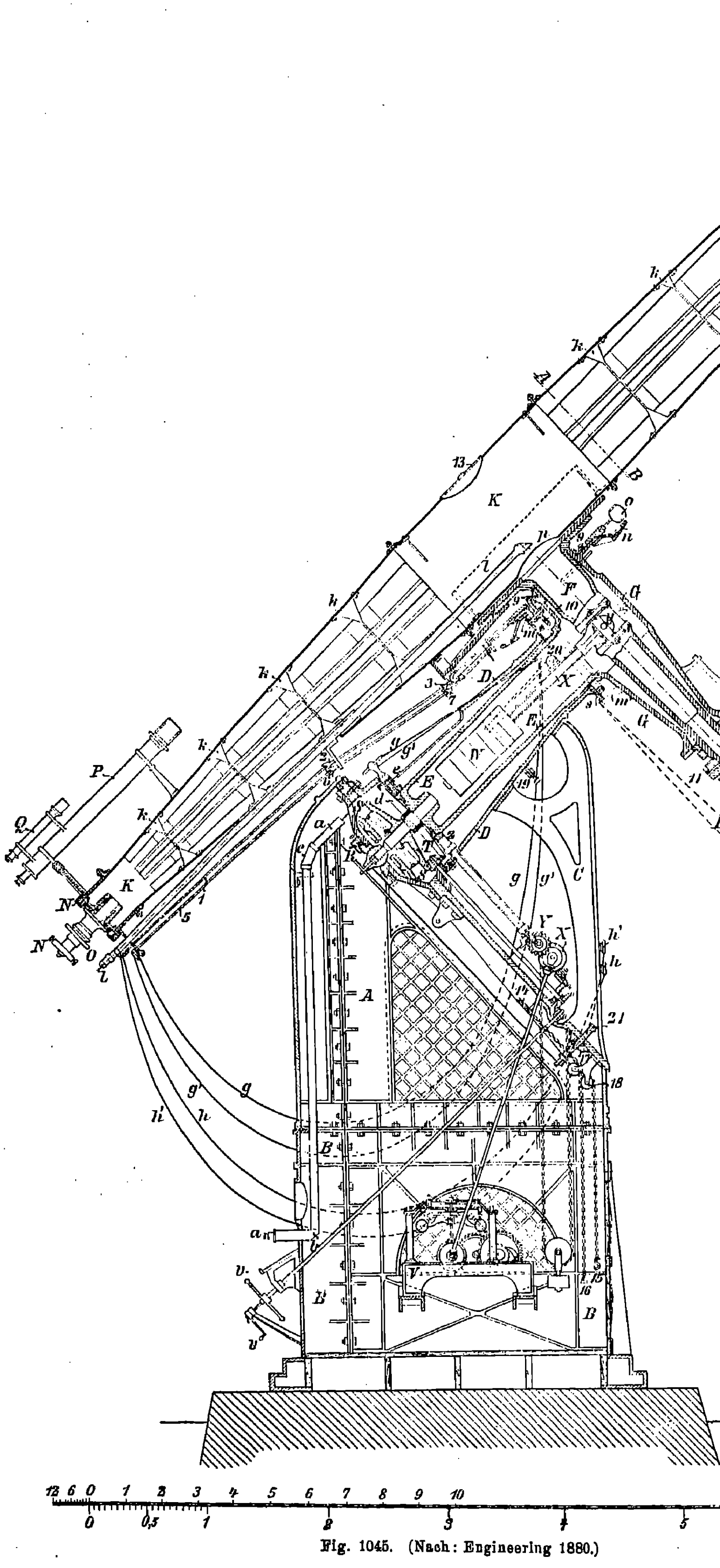


Fig. 1045. (Nach: Engineering 1880.)

oben endet dieser Kasten in einer ebenen Fläche, welche parallel dem Erdäquator liegt, sodass der obere Theil des Kastens A (von Osten oder Westen gesehen) in Form eines rechtwinkligen Dreiecks erscheint. Die Seitenflächen sind zum Theil nur durch Gitterwerk geschlossen und in der unteren Hälfte ist eine starke Konsole V angebracht, auf welcher das Triebwerk aufgesetzt ist.

Auf der Abschlussfläche des Kastens erhebt sich im Norden ein Bügel C, welcher die konische Büchse D, D der Polaraxe stützt, welche mit ihrer Grundfläche auf dem oberen Theile der schiefen Ebene des Stativkastens aufgeschraubt ist. Durch diese Verbindung der Polaraxe mit dem Stativ hat Grubb seinen Instrumenten in der Nähe des Meridians eine grössere Bewegungsfreiheit zu geben beabsichtigt, sodass mit denselben ohne Umlegen in grösseren Stundenwinkeln zu beiden Seiten des Meridians beobachtet werden kann.

In der Büchse D, D ist die hohle Polaraxe E, E so geführt, dass sie unten auf einer besonderen Lagereinrichtung mittelst eines stählernen Zapfens aufruht. Oben aber füllt sie den Lagertheil der Büchse nicht ganz aus, sondern findet ihre eigentliche Führung auf zwei um je 45° von der tiefsten Stelle des Lagers entfernten, besonders eingesetzten Stücken aus Rothguss (Axen und Büchsen sind alle aus Gusseisen), welche sich mit cylindrischen Ausdrehungen an den Axenzapfen anlegen, sodass derselbe ähnlich dem eines Durchgangsinstrumentes gelagert ist. Am oberen Ende trägt die Stundenaxe die Büchse G, G für die Deklinationsaxe F, F, welche an ihrem unteren Ende in einem besonders angeschraubten Lager läuft, am oberen Ende aber zwischen drei um je 120° von einander abstehenden ähnlichen Rothgussstücken, wie sie bei der Stundenaxe angebracht sind, geführt wird. An dem weit aus der Büchse herausragenden Ende der Deklinationsaxe sind die in gewissen Grenzen auf einem Schraubengewinde verschiebbaren Gegengewichte H, H angebracht, welche dem am anderen Ende befestigten Fernrohr K, K das Gleichgewicht halten, wodurch das ganze System mit Bezug auf die Stundenaxe äquilibrirt wird.

Zur Ausgleichung des Lagerdruckes sind für beide Axen sinnreiche, aber ziemlich komplicirte Einrichtungen getroffen.

Das Fernrohr besteht aus einem cylindrischen Mittelstück und zwei daran angesetzten konischen Rohren, welche nicht nur durch eine grössere Anzahl besonders geformter Diaphragmen k, k, sondern auch durch vier hohe, längs des ganzen Rohres verlaufende Rippen verstärkt werden. Dieselben durchsetzen die Diaphragmen in Öffnungen, die etwas weiter sind, als es die Form der Rippen erforderte, vergl. Fig. 1045 a. Grubb wollte mehr durch diese die Cirkulation der Luft ermöglichen, als durch die centralen Öffnungen, sodass in den Strahlenkegel nicht so leicht Luftströmungen eintreten konnten. Das zweitheilige Objektiv Z von 26 Zoll (66 cm) freier Öffnung, dessen beide Linsen eine Korrektur um etwa 2 cm bezüglich ihres Abstandes zulassen, um dasselbe für verschiedene Strahlengattungen zu achromatisiren, wird noch von einer langen Thaukappe überragt. Am Okularende, welches in seinem letzten Theile aus einem cylindrischen Gussstücke besteht, sind

zwei Sucherfernrohre P und Q, das letztere von 4 Zoll Öffnung, angebracht. Ein Ring, welcher das Okularende umgiebt, dient als Handhabe und enthält zugleich die Führungen für die Schlüssel der Klemmen und Feinbewegungen, sowie eines Mikroskops l, l, welches zur Ablesung des Stunden- und des Deklinationskreises gleichzeitig dient. Die Ablesung beider Kreise mittelst desselben Mikroskops wird dadurch erreicht, dass dasselbe vom Okularende nach Eintritt in das Fernrohr selbst bis sehr nahe an die Centrallinie der Deklinationsaxe reicht. Vor seinem Objektiv ist das Reflexionsprisma p angebracht, welches die Gesichtslinie durch die Bohrung der Deklinationsaxe hindurch nach den beiden Prismen q und r leitet, wo sie von letzterem nach dem Prisma s abgelenkt wird, welches seinerseits direkt über der Theilung des Stundenkreises m angebracht ist. Die Ablesestelle am Stundenkreis und an dessen Vernier m′ erhält ihre Beleuchtung durch die Lampe t vermittelst der Prismen u und i in leicht ersichtlicher Weise. Um auch die beiden Verniers des Deklinationskreises n, n mittelst desselben Mikroskops abzulesen, kann dasselbe nach beiden Seiten um je 90° um seine optische Axe gedreht werden. Dadurch wird die reflektirende Fläche so gestellt, dass der Strahlengang nach zwei über den Vernier des Deklinationskreises angebrachten wei-

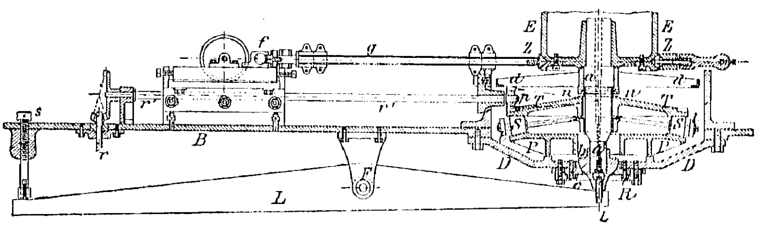


Fig. 1046.

teren Prismen gelenkt wird und von dort auf die Ablesestellen des Kreises trifft. Auch die Beleuchtung dieser Ablesestellen wird durch einen Theil des von t kommenden Lichtes bewirkt. Ein am unteren Ende der Stundenaxe angebrachter Kreis d, d kann vom Fusse des Instruments aus zwecks Einstellung desselben durch die Kurbel und das Rad bei v und v′ vermittelst des mehrfach gebrochenen Mikroskops a, b, c abgelesen werden. Von der Kurbel v führt eine Stange durch den Kasten hindurch und greift oberhalb desselben mittelst konischer Zahnräder und eines weiteren Gestänges in die Scheibe T ein, durch welche die Stundenaxe, auf den konischen Rollen S, S laufend, gedreht wird (siehe Fig. 1046). Die Klemmung der Stundenaxe findet durch einen Hebel, der vermittelst einer Schraube und einem Klemmstift auf e wirkt, in einer besonderen Ausdrehung der Stundenaxe statt. Die Drehung dieses Hebels wird durch die Schnurläufe g und g′ vom Okular aus bewirkt; während die Feinbewegung im Stundenwinkel durch die Schnurläufe h und h′ in eigenthümlicher, später noch näher erläuterter Weise stattfindet.

Die Feinbewegung und Klemmung in Deklination wird durch die Gestänge 1, 2, 3 resp. 5, 6, 7 und die Radübertragungen bei 9 und 10 in beiden Koordinaten bewirkt. Die Stange 12 dient zusammen mit noch zwei in gleicher

Weise angeordneten zum Halten der Lampe und des Prismensatzes i, u. Bei 13 ist in dem Fernrohre eine verschliessbare Öffnung angebracht, um in dasselbe gelangen zu können. Die Ketten 15 und 16, welche über die Rollen 14, 17 und 18 laufen, dienen zur Umschaltung der Bewegung des Fernrohres, wenn von Sternbeobachtungen zu Mondbeobachtungen übergegangen werden soll.

Die oben kurz erwähnten Äquilibrirungseinrichtungen für die Axen, welche aus der Gesammtfigur nur undeutlich zu erkennen sind, stellen die Fig. 1046 bis 1049 noch besonders dar.

Fig. 1046 zeigt die Entlastung des unteren Lagers der Stundenaxe. Das untere Ende derselben besteht aus einem Stahlzapfen a, a, welcher in die

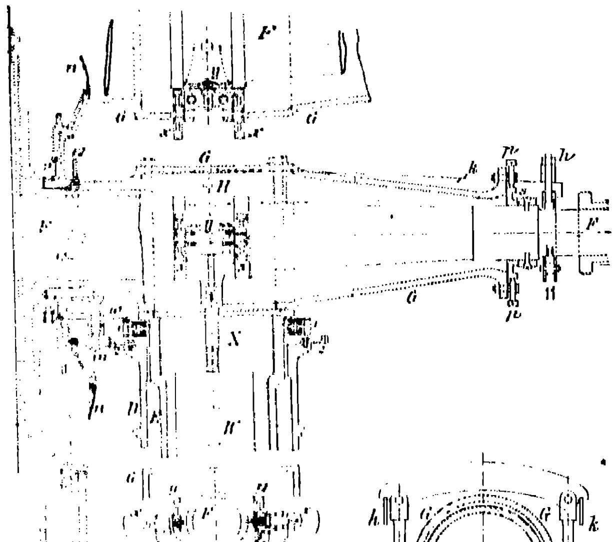
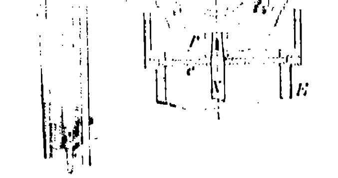



Fig. 1047.

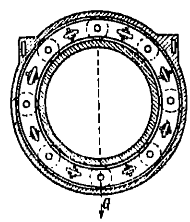


Fig. 1048.

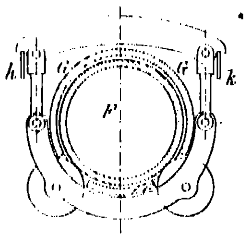


Fig. 1049 a.

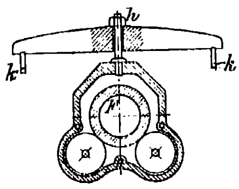


Fig. 1049 b.

Axe eingeschraubt ist. Auf dieser ist zunächst der eiserne Stundenkreis[1]) d, d durch die Mutter n, n aufgeschraubt. Direkt unter demselben ist der schon erwähnte Kreis T aufgesetzt, dessen Axe aus einem cylindrischen Theil des Zapfens a, a von $2^1/_2$ Zoll engl. Durchmesser besteht. Der gusseiserne Block b, dessen Aussenfläche sphärisch abgedreht ist, ruht in der Scheibe c, welche durch die Schrauben R mit der Platte D, D verbunden ist; diese letztere bildet einen Theil der schiefen Ebene B, B (siehe Fig. 1045). In dem Block b drückt von unten der stählerne Stift t mit sphärischer Oberfläche gegen das untere sorgfältig abgedrehte und gehärtete Ende des Axenzapfens. Zwischen den Zapfen a und in dem Block b kann durch eine besondere Bohrung des

[1]) Die Theilung desselben ist auf einem Goldstreifen, welcher in einem harten Silberstreifen eingebettet ist, ausgeführt.

ersteren Öl eingeführt werden. Auf den Stift t drückt der um den Zapfen F drehbare starke Hebel L, dessen längeres Ende durch die Schraube s, welche die Platte B, B durchsetzt, korrigirbar niedergedrückt wird. Der Hebel L, L trägt also einen grossen Theil des Gewichtes der Stundenaxe. Über dem oberen Lager umfasst die Polaraxe ein Doppelring 1, 1, Fig. 1047, zwischen dessen einzelnen Theilen acht Stahlrollen gelagert sind, welche an der Polaraxe genau anliegen und aussen durch einen weiteren Ring umschlossen werden, Fig. 1048. In diesen greifen in zwei Ansätzen zwei Hebelarme ein, die zu beiden Seiten der Stundenaxenbüchse liegen und um je einen Zapfen 20, Fig. 1045, drehbar sind und an ihren anderen Enden in eine die Axenbüchse von unten umfassende Gabel endigen, durch die man vermittelst einer Schraube bei 19 beide Hebel gleichzeitig herabziehen kann. Auf diese Weise kann der Druck der Polaraxe im oberen Lager beliebig verändert werden. Die Deklinationsaxe wird unter dem Fernrohr nahe dem Axenlager durch einen Ring 12, 12, Fig. 1047 u. 1049 a, in welchem zwei Rollen gelagert sind, gestützt, der oberhalb der Axe durch ein Querstück geschlossen wird. Unter dieses greift auf jeder Seite der Axenbüchse G, G ein doppelarmiger Hebel k, k, dessen beide Theile um einen die Deklinationsbüchse durchsetzenden Zapfen H drehbar sind und mit ihrem längeren Ende unter eine Stange greifen, welche vermittelst der sie in ihrer Mitte durchsetzenden Schraube h einen zweiten Rollenring 11, Fig. 1047 u. 1049 b, trägt. Durch diese Einrichtung wird das Gewicht der Deklinationsaxe mit Fernrohr und Gegengewichten fast ganz auf die Büchse der Deklinationsaxe übertragen und somit der Lagerdruck nahezu aufgehoben. Das Gewicht der Deklinationsaxe mit sämmtlichen an ihr befestigten Theilen (Fernrohr, Gegengewicht etc.) ist selbstverständlich ein sehr grosses und würde bewirken, dass falls eine erhebliche Komponente dieses Druckes längs der Deklinationsaxe wirkt, bei Drehung dieser Axe starke Reibung an den senkrecht zu ihr gelegenen Führungsflächen stattfindet. Um das zu verhindern, hat H. Grubb eine nach den Angaben seines Vaters konstruirte eigenthümliche Äquilibrirung eingerichtet.[1]) Die im Mitteltheil zwischen zwei cylindrischen Stücken 3, 3, Fig. 1047, ausgekehlte Axe wird von einer Gabel f umfasst, welche an dem Ende einer Schraubenspindel X befestigt ist, die in einer Deckplatte e, e der Stundenaxe geführt wird und die innerhalb der Stundenaxe das Gegengewicht W trägt. An den oberen Enden der Gabelarme sind zwei Rollensysteme x, x und y, y angebracht, von denen die beiden y-Rollen genau zwischen die Ringe 3, 3 passen, und die vier Rollen x, x, welche senkrecht zu den ersteren stehen, paarweise jene Ringe genau zwischen sich fassen. Durch die genannten Rollen wird die Deklinationsaxe geführt und ein längs ihrer Axe gerichteter Druck durch das Gegengewicht W in jeder Lage aufgehoben. Alle Reibung der Deklinationsaxe bezüglich ihrer Längsrichtung ist dadurch auf sogenannte rollende Reibung reducirt.

Aus der Fig. 1046 ist auch die Anordnung des die Uhrbewegung auf die Stundenaxe übertragenden Rahmens Z, Z, sowie dessen Klemmung auf der Stundenaxe ersichtlich. Genauer ist diese jedoch aus Fig. 1050 zu erkennen, in

---

[1]) Ganz ähnlich wurde dieselbe zuerst bei dem Melbourner Reflektor ausgeführt.

welcher gleichzeitig auch der Eingriff der Uhrenwelle in den gezahnten Sektor g, g sichtbar ist.

Mit der Übertragung der Uhrbewegung ist auch gleichzeitig eine Feinbewegung in Rektascension verbunden. Es besteht nämlich die Welle s, s nicht aus einem Stück, sondern dieselbe ist bei l durchschnitten und nur durch einen Zapfen wieder verbunden. An dieser Stelle sind aber mit den beiden Wellenenden, Fig. 1051, zwei Zahnräder W und W′ verbunden, welche unabhängig von einander bewegt werden können. Auf dem Rade W ist die Scheibe D frei beweglich aufgesetzt, welche durch den Schnurlauf C gedreht werden kann. In dieser Scheibe ist der Zapfen p eingeschraubt, um den sich ein Zwölfertrieb bewegen kann. Von den Rädern W und W′ hat das eine 54, das andere aber 56 Zähne bei gleichem Radius; wird also

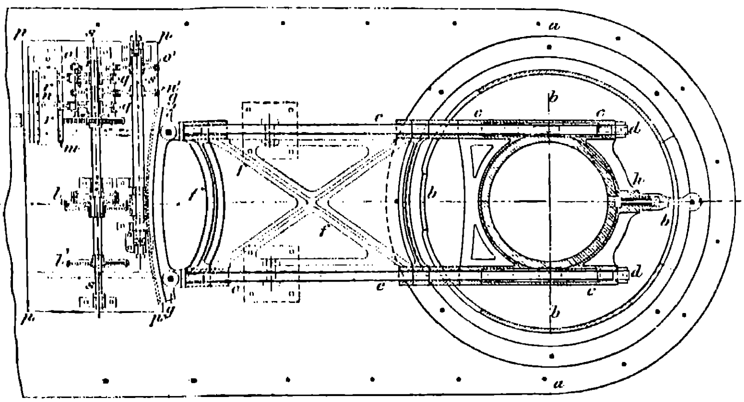


Fig. 1050.

das Trieb p um diese Zahnräder herumgeführt, so wird sich das Rad W gegen das Rad W′ bei einer Umdrehung um zwei Zahnbreiten verstellen, wodurch, wie leicht ersichtlich, die beiden Wellenenden s und s′ ebenfalls gegen einander gedreht werden. Auf diese Weise kann, ohne das Uhrwerk auszuschalten, die Absehenslinie des Fernrohrs offenbar etwas schneller oder etwas langsamer bewegt werden, als es das Uhrwerk für sich thun würde. Die Räder q, q, Fig. 1050, welche auf der Welle s, s sitzen, dienen in Verbindung mit o′, n′ und o n, o′ n′ zur Übertragung der Uhrbewegung auf die die Schraube ohne Ende führende zweite Welle. Durch die mit dem Schlitten r, r verbundenen Gabeln kann durch Drehung des Excenters bei o eine verschiedene Bewegungsgeschwindigkeit hervorgebracht werden, je nachdem die eine oder die andere Kuppelung in Thätigkeit gesetzt wird.

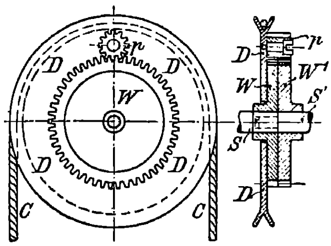


Fig. 1051.

Einen Querschnitt der Konstruktion des Okularendes ohne Mikrometer zeigt die Fig. 1052, welche für die meisten der grösseren englischen Instrumente typisch sein dürfte. Dem starken, gusseisernen Cylinder a, a, welcher das eigentliche Fernrohr abschliesst, ist ein Ring aus Rothguss ver-

mittelst dreier Schrauben c vorgesetzt. Diese Schrauben gehen durch die Zwischenplatte d, d und werden von einem Ring e, e gehalten, indem sie bei Drehung durch den Griff f in Schlitze des Ringes eingreifen. In diese centrale Bohrung von b, b ist das Rohr g, g genau eingepasst, mit diesem ist der gläserne Positionskreis h verbunden. Zwischen g und b ist der gezahnte Kreis K eingesetzt, in welchen die Schraube ohne Ende m zur Drehung des Positionskreises eingreift. Durch den Hebel o kann vermittelst des Ansatzes n, welcher in je eine der 180 Bohrungen des Kreises k passt, das Rohr g gegen den Theil b um einen beliebigen Winkel gedreht und fest gestellt werden; dadurch braucht die Feinbewegung vermittelst der Schraube ohne Ende bei Positionswinkelmessungen immer nur für eine kleine Winkelbewegung in Anspruch genommen zu werden. Das eigentliche Okularrohr p, p kann durch die Klemmschraube bei W fest mit dem Theil g, g verbunden und sodann mit diesem durch den Handring V V beliebig bewegt werden. Die Okulare und Mikrometer werden an der Flantsch q, q befestigt.

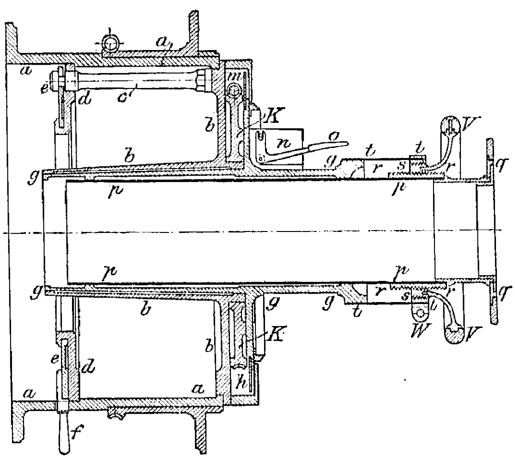


Fig. 1052.

Durch Vorstehendes dürften in Verbindung mit den beigegebenen Figuren die wesentlichen Theile dieses Instrumentes in genügender Weise erläutert sein. Fig. 1053 giebt eine Gesammtansicht dieses Instrumentes. Eine noch eingehendere Beschreibung findet sich in der englischen Zeitschrift Engineering, Bd. 29 (1880), der auch das hier Mitgetheilte im Wesentlichen entnommen ist.

Eine sich durch besondere Einfachheit auszeichnende Einrichtung hat GRUBB einem seiner kleineren Instrumente, einem 5zölligen Refraktor, gegeben, Fig. 1054. Die in gewöhnlicher Weise eingerichtete Polaraxe a, Fig. 1055, steckt in einem Messingcylinder a_1 und kann darin zur groben Einstellung in Rektascension durch Überwindung der etwas starken Reibung gedreht werden. Mit dem oberen Ende des Messingcylinders ist der Stundenkreis mit eingekerbtem Rande fest verbunden. Durch die in diese Kerbung eingreifende Schraube kann dann der Messingcylinder sammt Polaraxe, welche darin durch die genügend starke Reibung festsitzt, fein bewegt werden. Die Reibung kann durch aufgeschraubte Scheiben variirt werden. Die Polaraxe ist oben mit einem Flantsch versehen, welcher über dem Stundenkreis liegt und an welchem die Verniers k_1 für den Stundenkreis angebracht sind. In ähnlicher Weise durchsetzt die Deklinationsaxe d, welche aus Schmiedeeisen in Form eines hohlen Cylinders hergestellt ist, ein Messingrohr d_1, welches seinerseits an seinen Enden in den Lagern der Deklinationsbüchse d_2 geführt wird. Wo die Deklinationsaxe in die Wiege für das Fernrohr übergeht, ist dieselbe konisch

gestaltet und liegt so mit einer grossen Fläche in einer gleichen Bohrung der Messingbüchse auf. Durch Schraubenmuttern an ihrem anderen Ende wird sie in die Messingbüchse mit genügender Reibung hineingepresst, sodass sie auch ohne Klemme fest genug sitzt. Aus der Fig. 1055 geht auch hervor, wie die Ablesung des Deklinationskreises k, k und des Stundenkreises zugleich durch ein einziges Mikroskop mittelst der Prismen p, p_1 und p_2 vom Okularende aus geschehen kann.

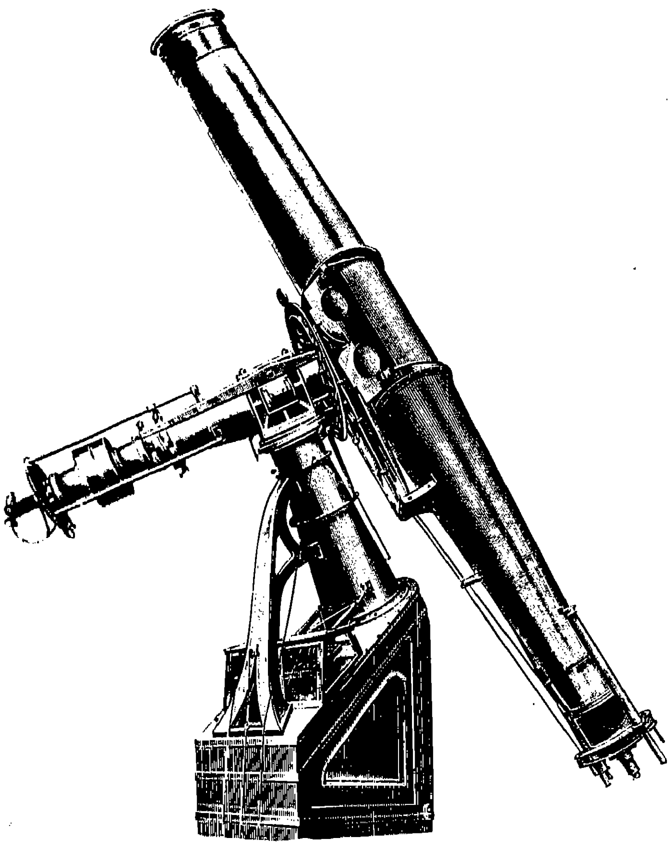


Fig. 1053.

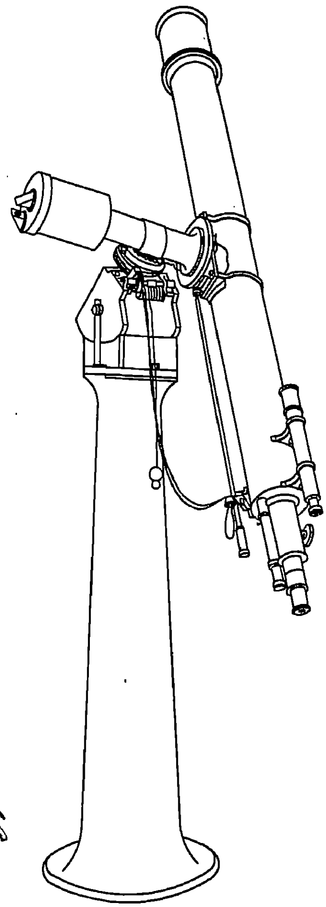


Fig. 1054.

So bequem bei den neueren Instrumenten schon die Ablesung der Kreise zur Einstellung des Instruments und zur eventuellen Winkelmessung für den Beobachter eingerichtet ist, so hat für den ersteren Zweck Grubb vor einigen Jahren doch noch eine Erleichterung dadurch herbeigeführt, dass er durch geeignete Räderübertragungen die Winkelbewegungen zwischen den Kreisen und den Axen oder deren Büchsen auf zwei am Okularende konzentrisch zur optischen Axe angebrachte und um diese frei bewegliche Kreise übertragen hat. Die Fig. 1056 giebt eine Anschauung dieser Konstruktion. Mit der Büchse der Deklinationsaxe ist ein Kreis f f fest verbunden, welcher einen Zahnkranz trägt; dieser greift in ein Trieb g am Ende eines längs des

Rohres nach dem Okular laufenden Hohlrohres ein und da das letztere am Okularende ein gleich grosses Trieb c trägt, das seinerseits in den um das Okularrohr frei rotirenden Kreis d eingreift, so wird dieser, da er von gleichem Durchmesser mit ff ist, bei der Bewegung des Fernrohres in Deklination um einen Winkel gedreht werden, der diese Bewegung misst. Ebenso ist auf einer Flantsch der Stundenaxenbüchse der Zahnkreis k befestigt, und von diesem aus wird die Bewegung im Stundenwinkel durch Vermittlung des Rades a und den auf der Stange m sitzenden Triebe b auf den Kreis r übertragen. Die Stangen m u. n sind in einander frei beweglich und n trägt hinter dem Griffe e ein weiteres Trieb, welches in den Kreis r eingreift. Da aber dieser Kreis sowohl die Bewegung im Stundenwinkel als auch diejenige in Deklination mitmachen wird, war es durchaus nöthig, beide Bewegungen für die Ablesung zu trennen. Das geschieht dadurch, dass der Kreis d zwei Thei-

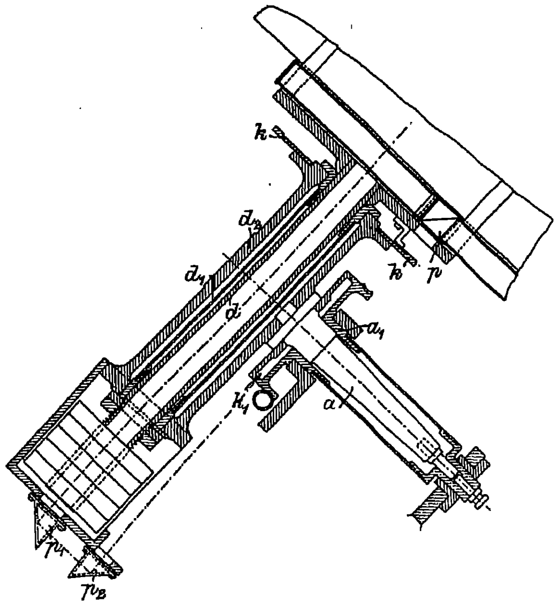


Fig. 1055.

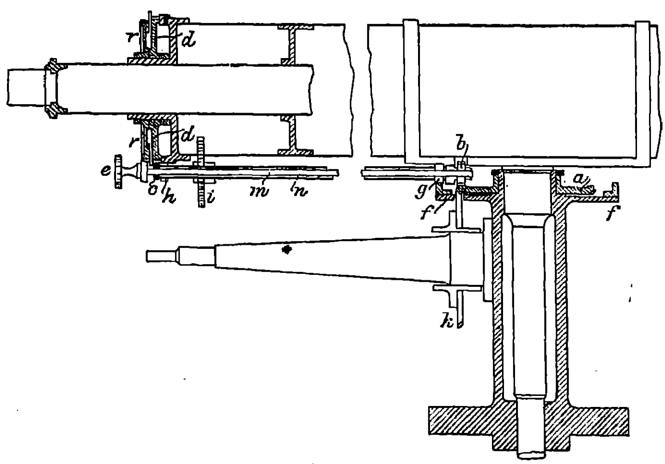


Fig. 1056.

lungen trägt, auf der einen wird an einem an dem Fernrohr befestigten Vernier die Bewegung in Deklination, und an der anderen wird an zwei auf dem Kreise r angebrachten Verniers die Drehung im Stundenwinkel abgelesen. Durch diese sinnreiche Einrichtung ist die Ablesung natürlich sehr

erleichtert und da der etwa auftretende Spielraum in den Zahnradübertragungen dadurch unschädlich gemacht wird, dass der ganze Mechanismus nur zu differentiellen Verstellungen, resp. zur Feinbewegung des Fernrohrs benutzt wird, so ist auch in dieser Richtung ein Mangel nicht zu befürchten.

b. Instrumente von Cooke & Sons.

Neben den Grubb'schen Instrumenten werden hier noch besonders die in den Cooke'schen Werkstätten gebauten Montirungen zu erwähnen sein.

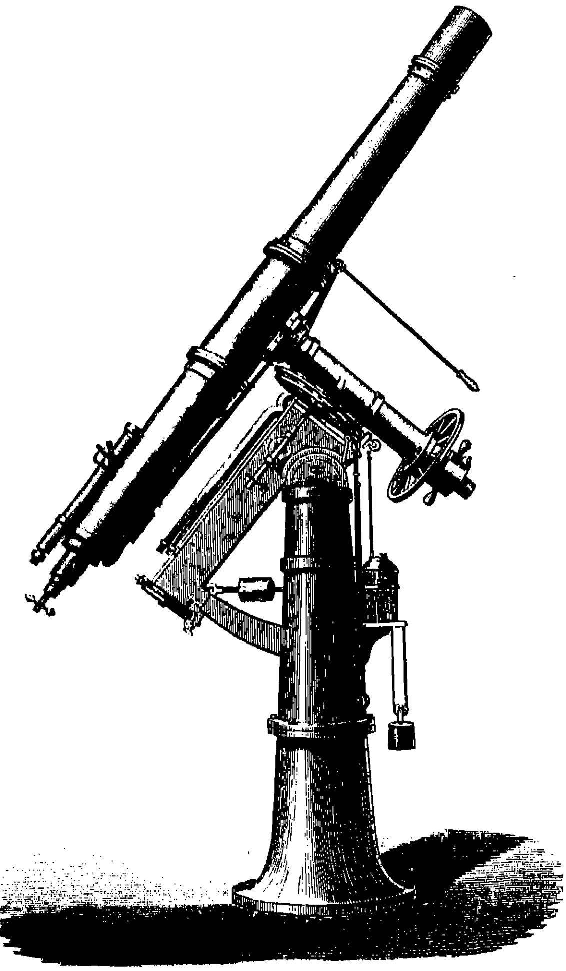


Fig. 1057.

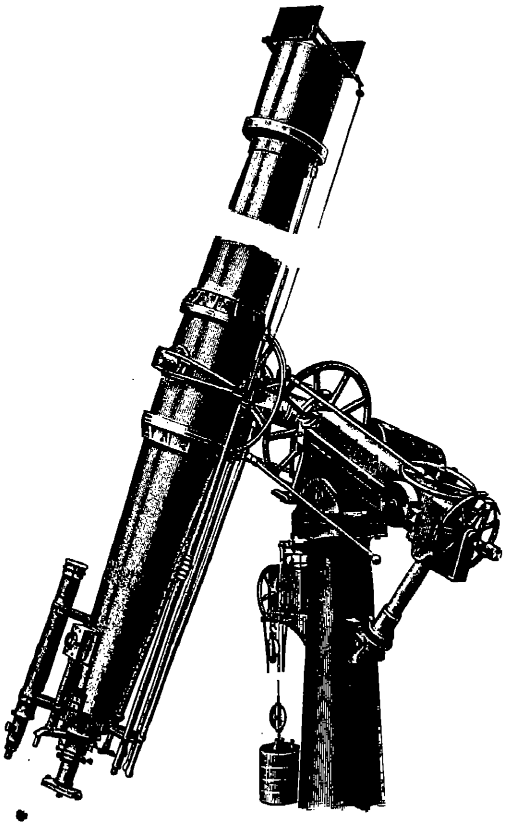


Fig. 1058.

Fig. 1057 stellt einen älteren und Fig. 1058 den neuen für Rio de Janeiro gebauten Refraktor dar. Bei dem ersteren ruht das ganze Instrument auf einer oben in einen cylindrischen Kopf endenden Säule. Auf deren Halbcylinder ist der Kasten mit den Lagern für die Polaraxe so befestigt, dass er im Sinne der Polhöhe etwas verschoben werden kann. Diese Verschiebung wird durch zwei Schrauben hervorgebracht, von denen die eine beweglich an dem unteren Ende des Axenkastens und die andere an dem gegenüberliegenden Säulentheile befestigt ist. Die eine Schraube besitzt ein

rechtsgängiges, die andere ein linksgängiges Gewinde und beide sind durch einen Metallcylinder verbunden, in welchen die entsprechenden Muttergewinde eingeschnitten sind (vergl. auch Fig. 1057). Durch Drehung dieses Cylinders kann die Polaraxe mehr oder weniger stark geneigt und zugleich in der ihr gegebenen Lage fixirt werden. Zu letzterem Zwecke dient auch ein bogenförmiger Ansatz am unteren Ende der Axenbüchse, welcher in eine entsprechende Öffnung der Säule hineinpasst und darin durch eine Schraube festgeklemmt werden kann, nachdem die Axe die gewünschte Lage erhalten hat. Am unteren Ende der Polaraxe ist ein kleinerer Aufsuchekreis angebracht, während das obere Ende einen solchen für genauere Ablesungen mittelst zweier Mikroskope und ausserdem noch einen dritten Kreis trägt, welcher für den Eingriff der Uhrschraube an seinem Rande gekerbt ist und besonders auf der Axe festgeklemmt werden kann. Die Äquilibrirung am oberen Ende der Polaraxe erfolgt durch einen den schon mehrfach beschriebenen ähnlichen Rollenring (2 Rollen unter der Polaraxe), der durch zwei auf dem Axenkasten mit Schneiden aufruhenden Hebeln, welche an ihren längeren Enden wie bei GRUBB durch eine gemeinsame Schraube niedergepresst werden, gehalten wird. Die Einrichtung der Deklinationsaxe sowie des Fernrohrs ist aus der Figur genügend zu ersehen und bietet nichts besonders Bemerkenswerthes dar.

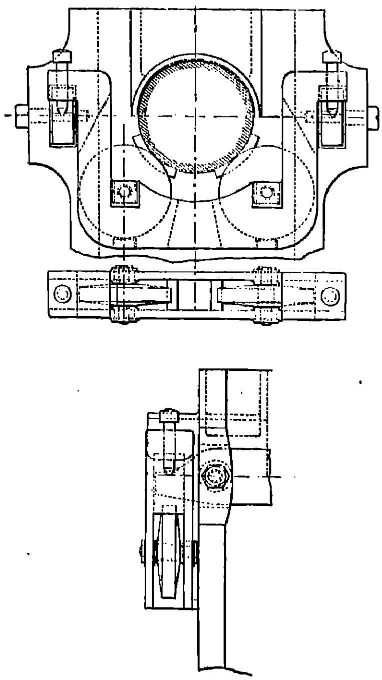


Fig. 1059.
(Nach Engineering 1894.)

Für den $12^1/_2$zölligen Refraktor für Rio de Janeiro besteht die das Instrument tragende Säule aus zwei Theilen, von denen sich der obere auf den unteren um einen geringen Betrag zwecks Justirung des Instruments drehen lässt. Der Kasten der Deklinationsaxe ist nicht fest mit dem Kopf des oberen Säulentheiles verbunden, sondern kann, wie bei dem eben beschriebenen Instrument, um eine Axe mittelst eines besonderen Schraubengestänges für verschiedene Polhöhen um einen ziemlich grossen Betrag gedreht und sodann festgestellt werden. Das Uhrwerk zur Bewegung der Stundenaxe ist an der Säule selbst angebracht, und das Triebgewicht hängt neben derselben herunter. Die Einrichtung der Axen und die Befestigung des Fernrohrs an der Deklinationsaxe bietet nichts Besonderes dar, nur ist Vorsorge getroffen, dass die Einstellungen und Feinbewegungen sowohl vom Okular aus, als auch von dem unteren Ende der Stundenaxe aus erfolgen können. An diesem Ende sitzt auch der Stundenkreis und zwar zunächst lose auf der Stundenaxe auf. Er trägt an seiner unteren Fläche zwei Theilungen, von denen die eine äussere an einem auf

der Büchse befestigten Vernier abgelesen werden kann, während die andere an zwei Verniers abgelesen wird, die an einer besonders klemmbaren Alhi-

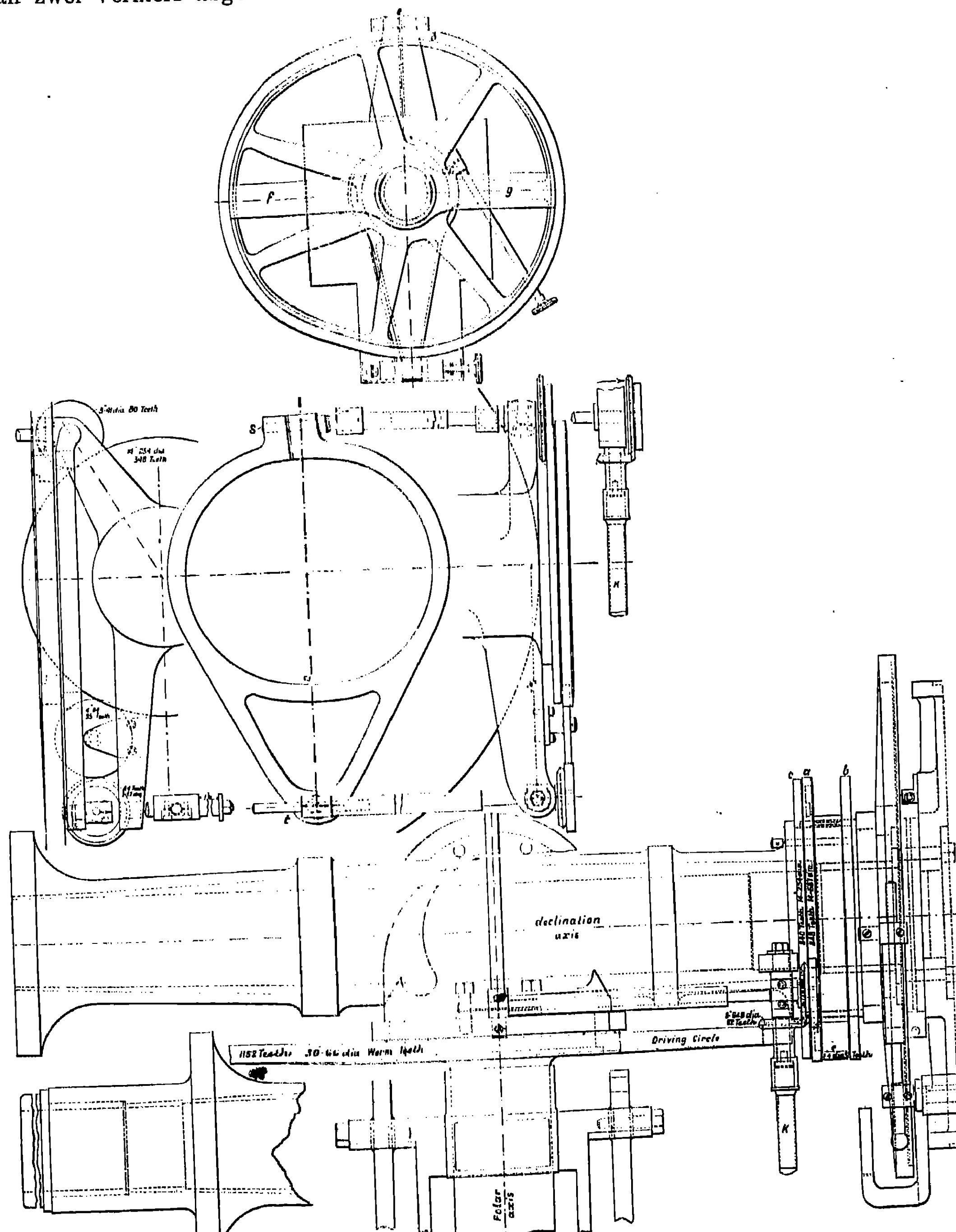


Fig. 1060.
(Nach Engineering 1894.)

dade sitzen. Diese Einrichtung dient dazu, zunächst den Kreis mit Hülfe der äusseren Theilung so auf der Stundenaxe zu drehen, dass er die Rekt-

ascension des einzustellenden Sterns zeigt. Sodann wird er an die Axe angeklemmt und mit dieser so lange gedreht, bis die Verniers der Alhidade (durch eine besondere Feinbewegung justirbar) auf der inneren Theilung die Sternzeit des Einstellungsmomentes angeben. Es ist leicht einzusehen, dass dann auf diesem mechanischen Wege thatsächlich die Differenz beider Winkel, also der Stundenwinkel eingestellt worden ist.

Die Äquilibrirung ist für die Polaraxe durch einen diese Axe unter dem oberen Lagertheil umfassenden Ring mit zwei Rollen hergestellt, Fig. 1059, welcher durch zwei neben der Stundenaxenbüchse liegende Hebel mit Gegengewichten emporgedrückt wird. Für die Deklinationsaxe ist ausser den Gewichten am Ende derselben zur Balancirung des Fernrohrs eine besondere Aufhebung des Lagerdruckes nicht vorgesehen. Die Einrichtung der Klemmen und ihre Wirkung auf die Axen geht aus der Fig. 1060 mit genügender Deutlichkeit hervor; es mag dazu nur bemerkt werden, dass auf dem gut abgedrehten Ende der Deklinationsbüchse sich drei Zahnkreise frei drehen,

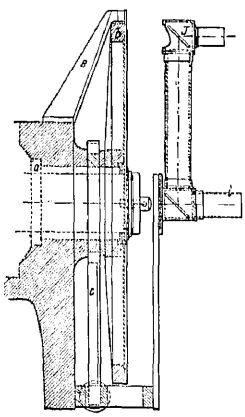


Fig. 1061.

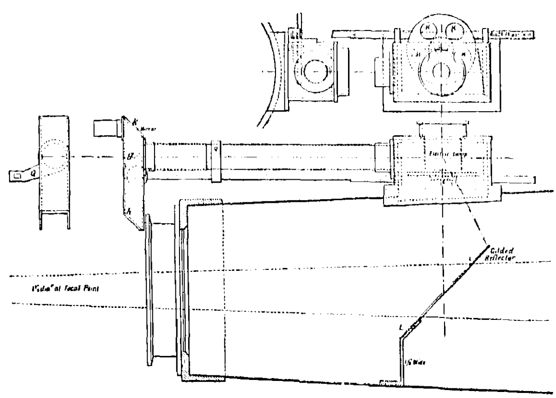


Fig. 1062.

von denen c und b zusammengehören, während sich a wieder auf der die beiden äusseren Kreise verbindenden Büchse frei bewegen kann. Durch Eingriff der Getriebe auf dem Gestänge k, welche mit den Handhaben am Okularende in Verbindung stehen und weiterhin durch solche, welche die Drehung von a auf den Klemmring s, t und auf die Stundenaxe übertragen, kann ganz ähnlich, wie es früher schon beschrieben wurde, die Klemmung und Feinbewegung erfolgen.

Die Beleuchtung ist für elektrisches Licht eingerichtet; sie wird für die Hauptkreise durch eine Lampe in der ideellen Fortsetzung der Deklinationsaxe bei l, Fig. 1061, für Feld- und Fadenbeleuchtung von einer Lampe bewirkt, die ausserhalb des Fernrohres an diesem in der Nähe des Okularendes angebracht ist, Fig. 1062. Letztere erhellt auch zugleich die Ablesestellen am Positionskreise durch eine eigenthümliche Spiegel- und Prismenanordnung, wie sie aus Fig. 1062 ersichtlich ist. Die Gesammteinrichtung des Okularstutzens mit Positionskreis und Trieb ist aus der Fig. 1063 ohne weiteren Kommentar zu ersehen.

Der Regulator des Uhrwerkes, von dem Fig. 1064 zwei Querschnitte zeigt, ist ein Centrifugalwerk, sehr ähnlich dem auch von GRUBB angewen-

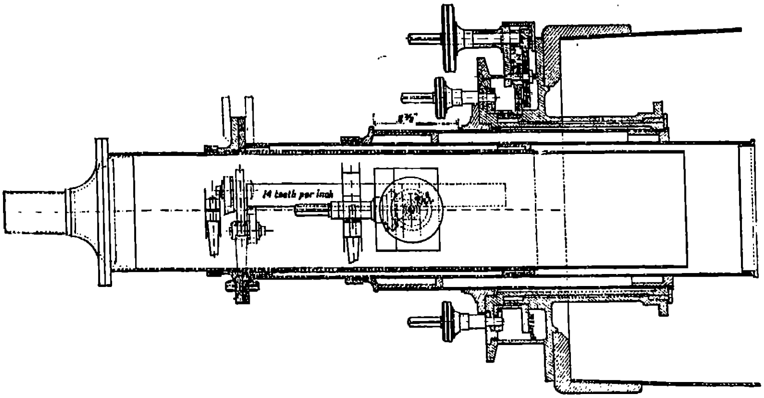


Fig. 1063.

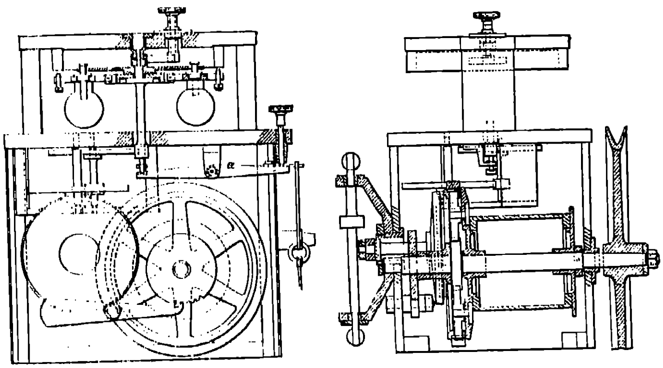


Fig. 1064.

deten Typus. Bezüglich weiterer Details, namentlich betreffs sorgfältiger Zeichnungen der einzelnen Theile, muss ich hier auf die Beschreibung dieses Instrumentes im Engineering 1894, S. 660ff. verweisen.

F. Montirungen aus amerikanischen Werkstätten.

Neben den englischen Mechanikern, welche Aufstellungen für Refraktoren bauen, nehmen gegenwärtig auch die der Vereinigten Staaten einen würdigen Platz ein, ja was Grossartigkeit der Ausführung und die Behandlung mächtiger Massen anlangt, dürften dieselben von anderen Werkstätten kaum erreicht werden, wenn auch vielleicht die feineren Theile nicht so exakt und gefällig hergestellt werden, als es in der alten Welt geschieht.

Es sind hier besonders die Instrumente zu erwähnen, die aus der Werkstätte von WARNER & SWASEY und aus derjenigen von SAEGMÜLLER in neuester Zeit und früher aus dem Clark'schen Institut hervorgegangen sind. Zu den neuesten Instrumenten hat das Letztere nur die Objektive geliefert.

a. CLARK'sche Montirung.

Die frühere Montirung des 26 Zöllers des U. S. Naval Observatory war von CLARK gebaut worden; die Fig. 1065 stellt die hier in Frage kommenden

Theile dieses Instruments dar.[1]) In mancher Hinsicht ist die Montirung den neueren amerikanischen Modellen schon ähnlich, namentlich bezüglich der Lagerung der Polaraxe. Diese ruht in einem harfenähnlichen Gestelle, welches auf dem gemauerten Pfeiler, in dessen Hohlraum sich das Uhrwerk befindet, aufgesetzt ist, sodass es sich noch in Höhe und Azimuth etwas bewegen lässt. Die Polaraxe ist nur im oberen Lager entlastet, da dort der Schwerpunkt aller beweglichen Massen des Instruments liegt. Die Axe wird unter diesem Lager durch zwei Rollen gestützt, die von dem oberen Ende eines Hebels gehalten werden, der die Lagerstütze der Polaraxe durchsetzt, auf der Südseite derselben herabgeht und an seinem unteren Ende durch eine Schraube gegen den Lagerbock mit entsprechendem Druck angepresst werden kann. Die der Polaraxe ähnlich gestaltete Deklinationsaxe ruht in einer langen Büchse, die durch Vermittelung zweier grosser Scheiben mit der Stundenaxe verschraubt ist. Die Axe ist bezüglich des Lagerdruckes in der Büchse nicht balancirt, aber zur Aufhebung einer Durchbiegung dieser Axe ist dieselbe in der Weite von etwa 2 Zoll durchbohrt, und in dieser Bohrung läuft eine doppelkonische Stahlstange entlang, welche an der Stelle der gemeinschaftlichen Grundfläche, die etwa in der Verlängerung der Stundenaxe liegt, die Bohrung genau ausfüllt. An dem kurzen Fernrohrende greift sie in das Rohr hinein und nimmt dessen Last an diesem Hebelende sehr nahe der optischen Axe auf. Das andere lange Ende dieses Hebels tritt aus der Axe heraus und trägt ein cylindrisches Gegengewicht. Zur Äquilibrirung des ganzen Obertheiles bezüglich der Stundenaxe sind an besonderen längs der Deklinationsbüchse entlang laufenden Stangen befestigte Gewichte (vier an der Zahl) angebracht.

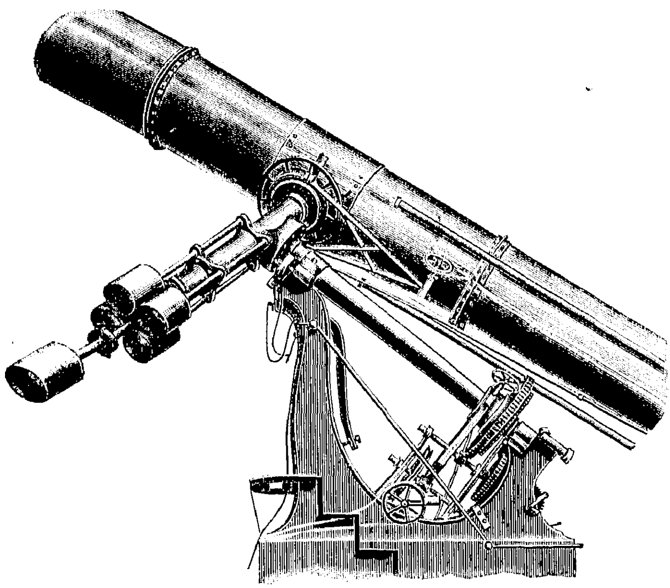


Fig. 1065.

Auf der Stundenaxe sitzt ein feingetheilter Kreis oberhalb des unteren Axenlagers, der von 15′ zu 15′ getheilt ist und mittelst zweier Mikroskope bis auf eine Zeitsekunde abgelesen werden kann. Der Deklinationskreis ist dicht neben dem Fernrohr angebracht und kann durch zwei am Fernrohr entlang laufende Mikroskope, die in der Figur gut sichtbar sind, vom Okularende aus abgelesen werden, während man zu den Mikroskopen des Stunden-

[1]) Mit demselben wurden bekanntlich die beiden Mars-Monde entdeckt.

kreises durch eine an der Südseite des Pfeilers angebrachte Treppe gelangt, durch die auch zugleich das gesammte Axensystem des Instrumentes zugänglich wird. Die Klemmen und Feinbewegungen sind meist durch Schnurläufe in Thätigkeit zu setzen, und es ist daher ihre Einrichtung eine sehr einfache und aus der Figur leicht verständliche. Das Fernrohr selbst ist aus $^1/_{16}$zölligem (1,6 mm) Stahlblech gefertigt; schon an diesem Instrument sind am Objektivende, welches einen Durchmesser von 28 Zoll hat, zwei Ventilatoröffnungen angebracht. Das Objektiv selbst besteht aus einer doppelkonvexen Crownglaslinse mit gleichen Krümmungsradien und einer dahinter gelegenen plankonvexen Flintlinse,[1]) es hat eine freie Öffnung von 26 Zoll (660 mm) bei 390 Zoll (9,906 m) Brennweite. Das Rohr ist nahe 32 Fuss lang und hat am Okularende noch 21 Zoll Durchmesser. Eine grosse Anzahl von Okularen gestattet bis zu einer Vergrösserung von 1800 zu gehen, falls die Bildbeschaffenheit es erlaubt. Bezüglich weiterer Einzelheiten im Bau dieses Instrumentes muss ich aber hier auf die eingehende Beschreibung in den „Washington Observations“ von 1874 verweisen, nur mag noch bemerkt werden, dass der Regulator des Triebwerkes ein konisches Pendel war, welches in 2 Sekunden eine Revolution ausführte. Die Triebkraft lieferte eine dem Greenwicher Werke sehr ähnliche Wasserkraftmaschine.

b. Die Instrumente von Warner & Swasey.

Mit dem Neubau des Naval Observatory und der theilweisen Neuausrüstung wurde auch das eben beschriebene Instrument von Warner & Swasey neu montirt, die Linsen von den Clark's nachgeschliffen und die ganze Aufstellung verändert. Die Fig. 1066 zeigt das neue Instrument, dessen wesentliche Theile erheblich stärker gewählt sind als in der früheren Montirung und ganz dem Typus entsprechen, welchen auch die aus derselben Werkstätte hervorgegangenen Instrumente des Lick- und des Yerkes-Observatoriums zeigen und deren Wahl nicht nur in ganz allgemeiner Weise getroffen worden ist, sondern auf besonderen Rechnungen des Professors Harkness vom Naval Observatory basiren. Er selbst giebt darüber in dem Jahresbericht dieses Institutes von 1893 die folgende interessante Mittheilung:

„Von kleinen Dimensionen ausgehend, sind die astronomischen Teleskope immer mehr und mehr vergrössert worden, sodass ihre Massen bald nach Tonnen gerechnet wurden. So lange ihre einzelnen Theile klein waren, genügte es meist, deren Grössenverhältnisse nach dem blossen Augenmaass zu bestimmen, jetzt aber, wo die Axen in dem Maassstabe der Schraubenwelle eines Dampfers gebaut werden müssen, ist es auch nöthig, für ihre Konstruktion bestimmte mathematische Ausdrücke aufzustellen, welche den technischen Anforderungen in Bezug auf Stabilität und Festigkeit Genüge leisten. Aber solche Formeln gab es nicht, und obgleich die Sternwartenbibliothek (in Washington) die Zeichnungen und Beschreibungen fast aller bis dahin gebauten Instrumente enthält, konnte doch erst ein sorgfältiges Studium dieses Materials zur Aufstellung der gewünschten Formeln führen. Es gelang solche

[1]) Die drei ersten Krümmungsradien sind einander gleich; etwa 161 Zoll (4,09 m).

zu finden, aus denen für jede beliebige Dimension die Verhältnisse der hauptsächlichsten Theile gefolgert werden können. Eine der schwierigsten Fragen war dabei die Ableitung der Dicken der Stahlplatten, aus welchen

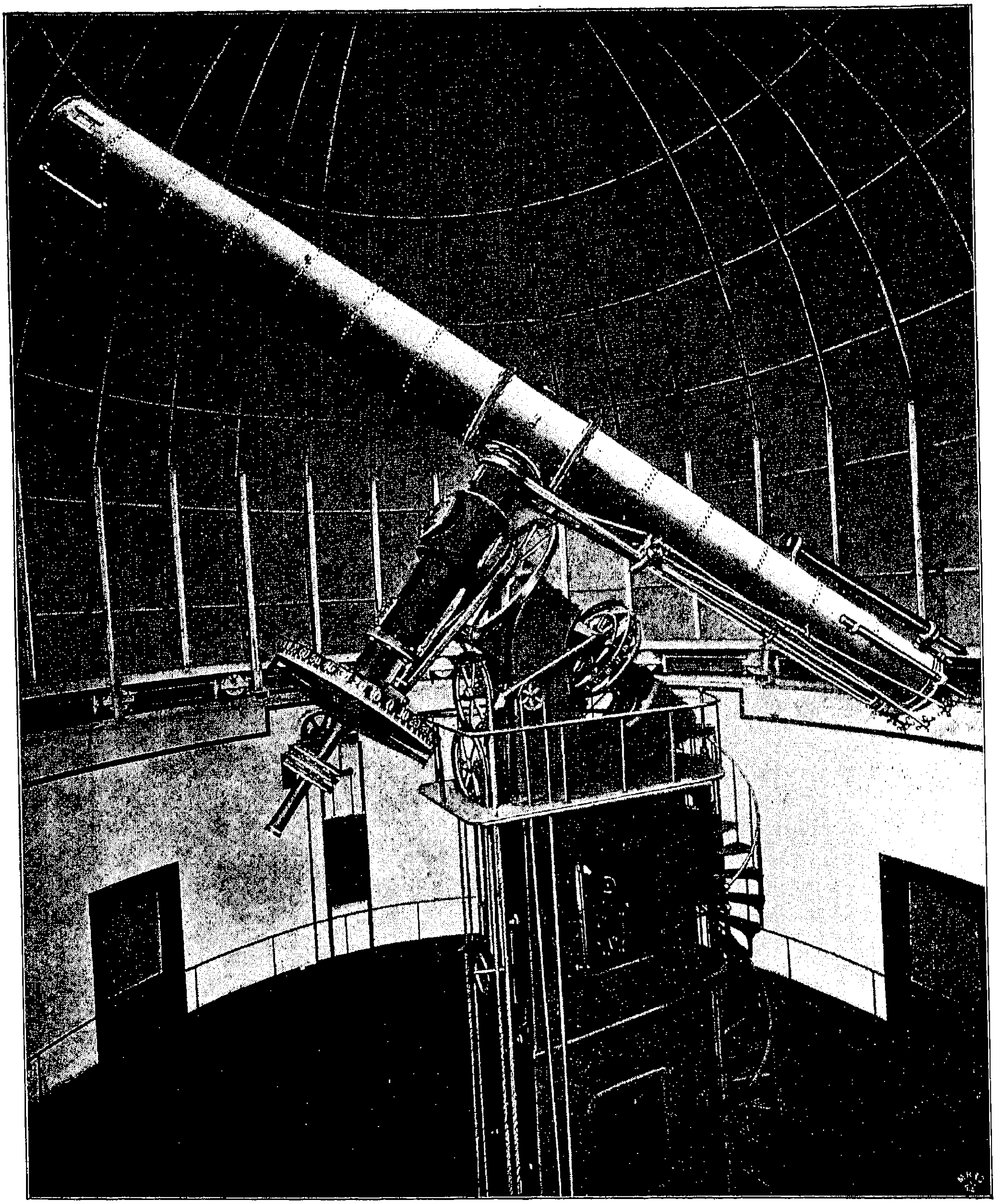


Fig. 1066.

das Fernrohr zusammengesetzt werden musste. Es konnte kein Integral angegeben werden, welches mit genügender Schärfe der Differenzialgleichung für die Stärken der Platten genügte, bezüglich ihrer Entfernung von dem Mitteltheile des Rohres. Auch die Auflösung in Reihen gab keine genügenden

Resultate, erst die Anwendung mechanischer Quadraturen führte zu praktisch verwerthbaren Ausdrücken." [1])

Nach den so gewonnenen Zahlen wurden sowohl der 12 Zöller als auch der 26 Zöller des Naval Observatory und später auch wohl der Lick-Refraktor und der der Yerkes-Sternwarte bezüglich ihrer technischen Ausführungen gebaut.

Die Polaraxe des 26 Zöllers ist aus Stahl und hat bei 2,59 m Länge einen Durchmesser von nahe 230 mm. Sie ist auf einem der alten Montirung ähnlichen Bocke, welcher aus Gusseisen und innen hohl hergestellt ist, gelagert. Die Axe selbst ist innen hohl und wird in dieser Bohrung von einer Stahlstange durchsetzt, die die Bewegung der Deklinationsaxe von verschiedenen Stellen des Statives aus vermittelt. Die Drehung der Stundenaxe erfolgt durch ein zwischen den beiden Lagern auf dieselbe aufgesetztes Zahnrad und kann ebenfalls sowohl mit der Hand als auch durch Maschinenkraft ausgeführt werden. Überhaupt sind bei diesen und den erwähnten noch grösseren Instrumenten maschinelle Einrichtungen vorgesehen, welche die Drehung um grössere Winkel durch Gewicht oder elektrischen Betrieb auszuführen gestatten. Die Balancirung aller beweglichen Theile des eigentlichen Instruments geschieht durch einen Hebel, welcher gegen einen Zahnkranz drückt, der die Stundenaxe oben oberhalb ihrer oberen Lagerbüchse umfasst. Er hat seinen Drehpunkt in dem Lagerkasten, und sein längerer Hebelarm wird durch eine Schraube, welche in der Nähe des Aufsuchekreises in der Wand des Lagerkastens ihr Muttergewinde hat, niedergepresst. Der Uhrkreis umschliesst die Stundenaxe dicht über dem erwähnten Rollenkranz und kann auf derselben für sich festgeklemmt werden. Die Uhrbewegung wird von einem mit Centrifugal-Pendel als Regulator versehenen Triebwerke bewirkt, welches im Inneren des dritten Theiles des Statives aufgestellt ist, vergl. S. 1148.

Auf dem scheibenförmigen Ende der Stundenaxe ist die Büchse für die ebenfalls central durchbohrte Deklinationsaxe aufgeschraubt. Die Deklinationsaxe hat bei einer Länge von 2,29 m einen Durchmesser von 190 mm. Sie ist im Allgemeinen der Stundenaxe sehr ähnlich und wird ebenfalls von einem Stahlcylinder durchsetzt, welcher zur Vermittelung der Klemmung und Feinbewegung der Stundenaxe vom Okularende aus dient. Nahe der Mitte trägt die Axe im Innern der hohlen Büchse ein mit ihr verbundenes Zahnrad, durch welches vermittelst der die Stundenaxe durchsetzenden Stahlstange die Bewegung in Deklination ausgeführt werden kann. Das Fernrohr besteht aus drei Theilen, einem mittleren cylindrischen mit grosser, seitlicher Öffnung und den beiden konischen Theilen. Es ist im Ganzen 9,75 m lang und hat am cylindrischen Mittelstück 0,91 m Durchmesser. Am Objektivende sind Öffnungen zur Ventilation und zum Reinigen der Rückseite des Objektivs angebracht. Das Okularende trägt zwei Sucherfernrohre und ausserdem einen starken Halbring, in welchem die Stangen für die Klemmung und Feinbewegung vom Okular aus ihre Führung haben.

---

[1]) Dazu wäre auch zu vergleichen, was A. G. Clark in Astronomy and Astrophysics 1893, S. 673, über die Zukunft der grossen Fernrohre sagt.

Die Einstellung in Stundenwinkel und Deklination ist bei diesem Instrument, sowie bei den grösseren von WARNER & SWASEY und ebenso bei denen von SAEGMÜLLER durch die Beifügung besonderer Sucherkreise erleichtert.

Eine nähere Beschreibung dieser Einrichtungen mag hier, weil sie sich gut zu bewähren scheinen, mit Bezug auf einige Figuren Platz finden.[1])

In bequemer Augenhöhe befindet sich entweder an der Nord- oder Südseite des Pfeilers eine Kapsel, welche zwei koncentrische Zifferblätter, Fig. 1067, eben die Sucherkreise, enthält.[2])

Das äussere hat eine zweimal von 0 bis 90 gehende Theilung und dient zur Deklinationseinstellung, das andere, etwas zurückliegende Zifferblatt hat eine Eintheilung in 12 Stunden nebst Unterabtheilungen und dient zur Einstellung in Rektascension. Die Bewegung des Instrumentes geschieht mittelst zweier, neben einander angeordneter Handräder, und zwar in Rektascension

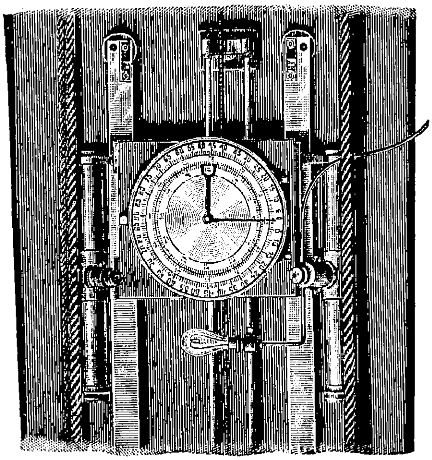


Fig. 1067.

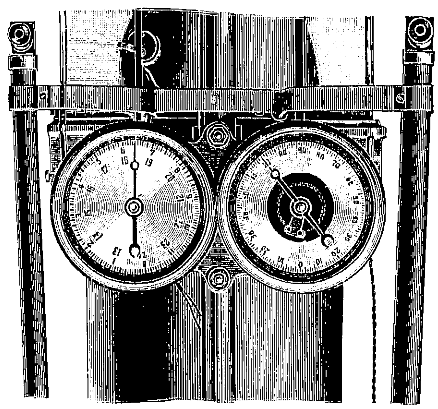


Fig. 1068.

mittelst des rechten, in Deklination mittelst des linken. Bei der ersteren Bewegung wird die Drehung des Handrades durch eine Führungsstange und mehrere Zahnräder auf ein vor dem Stundenkreis befindliches und wie dieser auf der Polaraxe fest aufsitzendes grosses Zahnrad einfach übertragen. Bei der Bewegung des Fernrohres in Deklination wird die Drehung des Handrades in ganz gleicher Weise wie vorhin auf ein vor jenem Zahnrad befindliches, gleich grosses Zahnrad übertragen, welches aber nicht auf der Polaraxe, sondern auf einer in ihr gelagerten Axe sitzt, und von da aus weiter auf ein Kegelrad, welches neben dem Deklinationskreis liegt und wie dieser auf der Deklinationsaxe aufgepasst ist.

---

[1]) Bezüglich des Erfinders dieser Kreise, welche von Saegmüller und von Warner & Swasey gleichmässig hergestellt werden, dürften auch die Ansprüche, welche Professor Harkness erhebt, berechtigt sein.

[2]) Saegmüller hatte zuerst an dem für die Georgetown-Sternwarte gebauten 12zölligen Refraktor die Zifferblätter nicht koncentrisch, sondern neben einander angebracht, wie es die Fig. 1068 zeigt. Das Princip der Anordnung ist dadurch aber wenig verändert worden.

Die Übertragung der Bewegung des Fernrohres in Rektascension und Deklination auf die Zeiger der Sucherkreise lässt sich aus den Fig. 1069 u. 1070 erkennen.

Um gleich auf Rektascension einstellen zu können und also nicht erst den Stundenwinkel berechnen zu müssen, wird das Rektascensionszifferblatt durch eine nach Sternzeit gehende Uhr getrieben, wobei ein Index die jeweilige Sternzeit angiebt. Diese Uhr ruht auf den Platten p p, Fig. 1069,

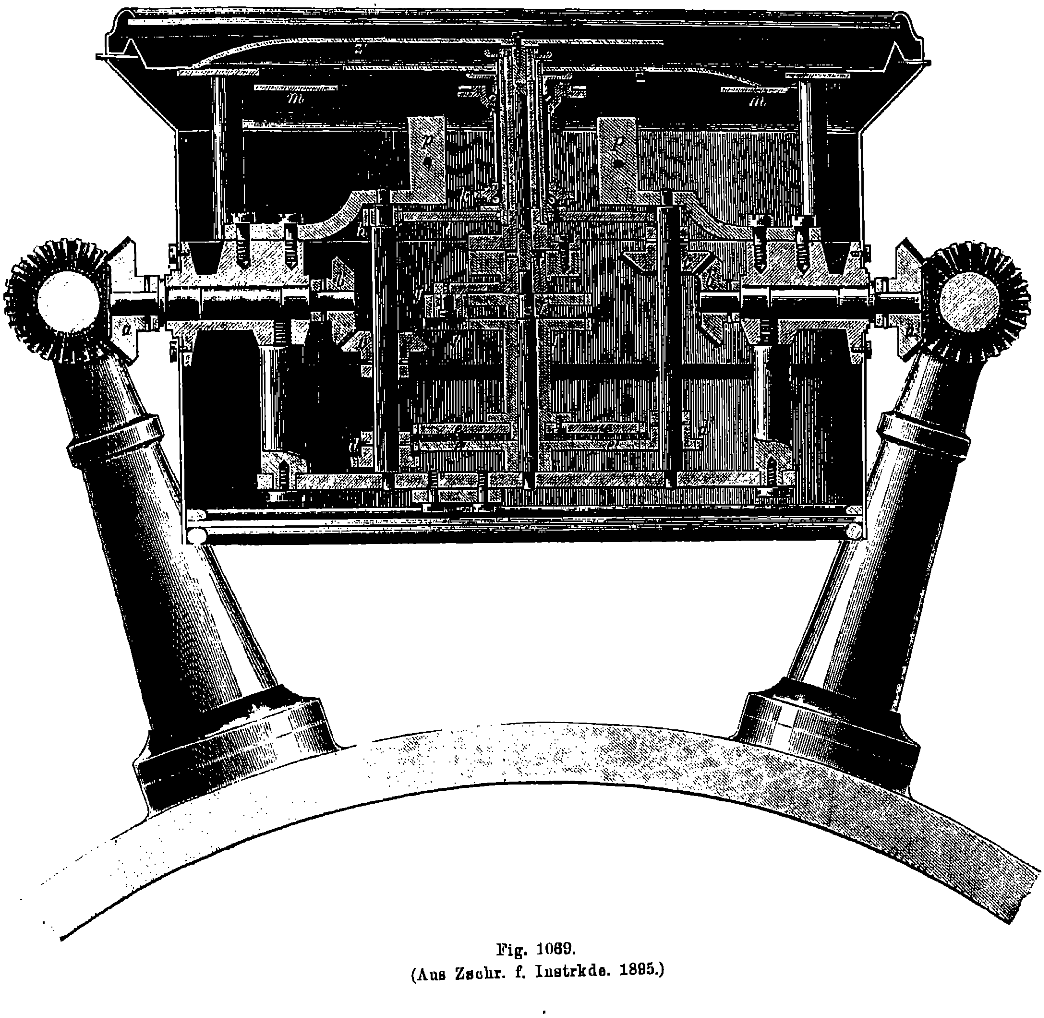


Fig. 1069.
(Aus Zschr. f. Instrkde. 1895.)

und dreht vermittelst des Zahnrades k das ringförmige Zifferblatt m m (vergl. auch Fig. 1068).

Eine grössere Anzahl von Stahlkugeln zwischen der Axe und der den Rektascensionskreis tragenden Hülse bewirkt eine leichte Beweglichkeit dieses Kreises.

Durch die Drehung des Rektascensions-Handrades kommen zunächst die Kegelräder a, b, c, Fig. 1069, in Bewegung. Auf derselben Axe wie c sitzen aber noch das Zahnrad d und der Trieb h. Durch den Trieb h pflanzt sich

die Bewegung auf das Zahnrad i und den damit in fester Verbindung stehenden Rektascensionszeiger z fort.

Bei Drehung des Handrades für die Einstellung in Deklination bewegen sich, wie aus Fig. 1069 ersichtlich ist, die Kegelräder a′, b′, c′, sodann das mit letzterem auf gleicher Axe sitzende Zahnrad d′, welches in e′ eingreift. Mit e′ auf derselben Axe sitzt das Zahnrad f′, welches sich also auch drehen wird. Vor e′ und hinter f′ liegen die mit ihnen gleich grossen Zahnräder e und f, welche in fester Verbindung mit einander stehen. Durch Vermittelung zweier Zahnräder, welche auf einer nicht in der Ebene der Fig. 1069 liegenden Axe sitzen und daher in dieser Figur auch nicht gezeichnet sind, steht das Rad e mit d in Verbindung, worauf wir nachher zurückzukommen haben.

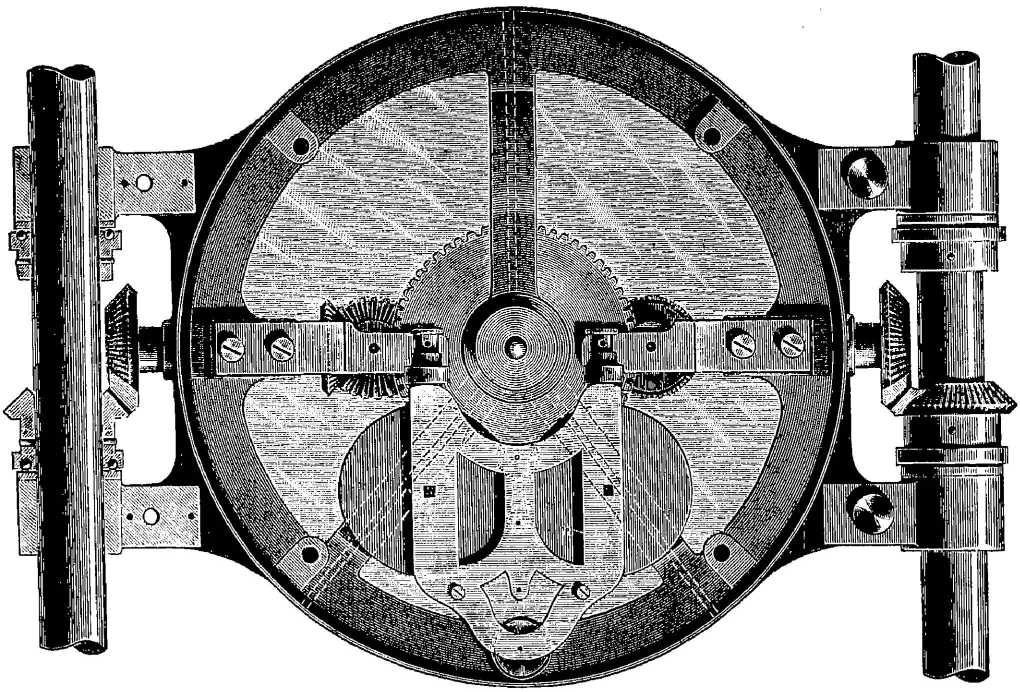


Fig. 1070.

Zwischen den Rädern f und f′ wird dagegen die Verbindung hergestellt durch die beiden sogenannten Epicykelräder g und g′, deren Axen neben einander auf einem Arm sitzen, der um die Axe der Räder e′ und f′ drehbar ist. Beide Epicykelräder greifen in einander ein, doch nicht in ihrer ganzen Höhe. Vielmehr greift, da g′ direkt auf dem Epicykelarm, g aber etwas höher steht, nur der obere Theil von g′ in den unteren Theil von g. Mit seinem unteren Theil greift g′ dagegen in f′ und g mit seinem oberen Theil in f ein.

Infolge dieser Einrichtung kann jedes der Räder f und f′ unabhängig vom anderen bewegt werden. Wird z. B. bei Bewegung des Fernrohres in Deklination das Rad f′ gedreht, so rollt sich g′ auf f′ und g auf f ab, und der Epicykelarm dreht sich mit der halben Winkelgeschwindigkeit des Rades f′,

während f stehen bleibt. Würde f sich ebenso wie f', aber nach der entgegengesetzten Richtung drehen, so würde der Epicykelarm stehen bleiben. Überhaupt bewegt sich, wie leicht einzusehen, der Epicykelarm mit einer Winkelgeschwindigkeit, welche das arithmetische Mittel aus den Geschwindigkeiten von f und f' ist.

Bei der Bewegung des Fernrohres in Deklination erfährt also der Epicykelarm eine Drehung und infolgedessen, wie aus Fig. 1069 sofort deutlich zu ersehen ist, auch der Deklinationszeiger z' eine solche.

Wie bemerkt, kommen durch eine Drehung des Rektascensions-Handrades die Kegelräder a, b und c in Bewegung. Während durch den Trieb h die Bewegung auf den Rektascensionszeiger übertragen wird, wird das auf gleicher Axe sitzende Rad d und das Rad e bewegt, gleichzeitig dreht sich auch das mit ihm in fester Verbindung stehende Rad f. Da sich aber mit der Polaraxe auch die in ihr befindliche Axe bewegt, so dreht sich auch nach einer Übertragung dieser Bewegung durch a', b' u. s. w. das Zahnrad f'. Die Einrichtung ist nun so getroffen, dass f sich mit gleicher Geschwindigkeit, aber entgegengesetzt dreht wie f'. Wenn aber f und f' sich gleich schnell und entgegengesetzt drehen, so bleibt der Epicykelarm unverändert stehen, und demnach bewegt sich auch bei einer Bewegung des Fernrohres in Rektascension der Deklinationszeiger nicht mit.

Durch die Einrichtung der „Sucherkreise“ würden weitere Kreise unnöthig, aber trotzdem pflegen die amerikanischen Werkstätten solche anzubringen, allerdings in einer Form, wie man sie an deutschen Instrumenten nicht gewohnt ist. Dieselben sind von grossem Durchmesser ohne weitere Ausarbeitung, wie sie ein exakter Guss schon liefert, sie tragen eine grobe in die Augen fallende Theilung auf der Stirnseite des Randes, die nur durch zwei diametrale Indices abgelesen werden kann. Die Theilung ist aber so augenfällig, eventuell nur von Grad zu Grad fortschreitend, dass selbst bei den grössten Instrumenten die Ablesung mit blossem Auge vom Fussboden aus möglich ist. Ich halte diese Anordnung bei parallaktischen Instrumenten, die nur zu mikrometrischen Messungen oder zu astrophysikalischen Studien dienen sollen, was ja gegenwärtig fast allgemein der Fall ist, für sehr nachahmungswerth.

Den grossen Refraktor des Lick-Observatoriums stellen die Fig. 1071 (Gesammtansicht) und 1072 (Okulartheile) dar. Die Konstruktion seiner Aufstellung ist fast genau derjenigen des Washingtoner 26 Zöllers gleich, und es soll daher hier zur Erläuterung der Figuren, sowohl des Washingtoner als auch des 40 zölligen Yerkes Teleskopes,[1]) die Einrichtungen des Lick-Refraktors noch etwas näher erläutert werden.

Das Objektiv von 36 Zoll (914 mm) freier Öffnung ist von Alvan Clark & Sons hergestellt und besteht aus einer Crown- und einer Flintglaslinse, von welchen die erstere doppeltkonvex mit gleichen Krümmungsradien von je

---

[1]) Die äusserst instruktive Zeichnung dieses Instruments, Fig. 1080, ist mir von den Herren Warner & Swasey für das vorliegende Werk mit besonders dankeswertem Entgegenkommen zur Verfügung gestellt worden.

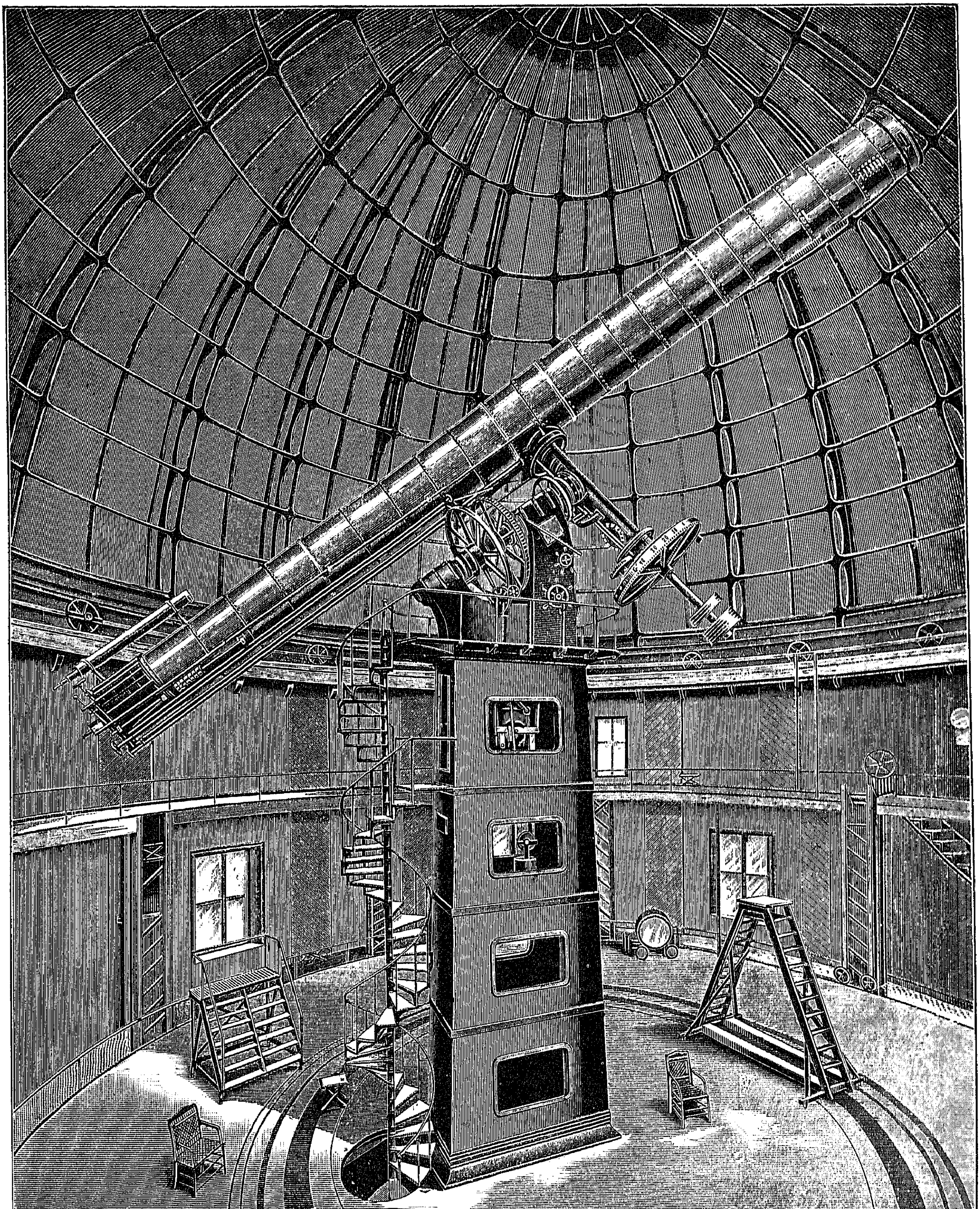


Fig. 1071.
(Nach Engineering 1888.)

259,52 Zoll (6,592 m) Radius geschliffen ist, während die doppeltkonkav geformt ist mit den Krümmungsradien von 239,59 und 40000 Zoll (etwa 1000 m) Radius. Die zwei Linsen sind in fernung von 6,5 Zoll (165 mm) von einander gefasst, wie Fig. 1073 u. 10. das Gesammtobjektiv hat eine Brennweite von $56^1/_2$ Fuss (17,22 m). Nebe diesen beiden Linsen ist noch eine dritte vorhanden (Crownglas), welche das Objektiv für photographische Aufnahmen achromatisiren soll. Sie ist bikonvex mit den Krümmungsradien 255,15 Zoll (6,481 m) resp. 302,12 Zoll

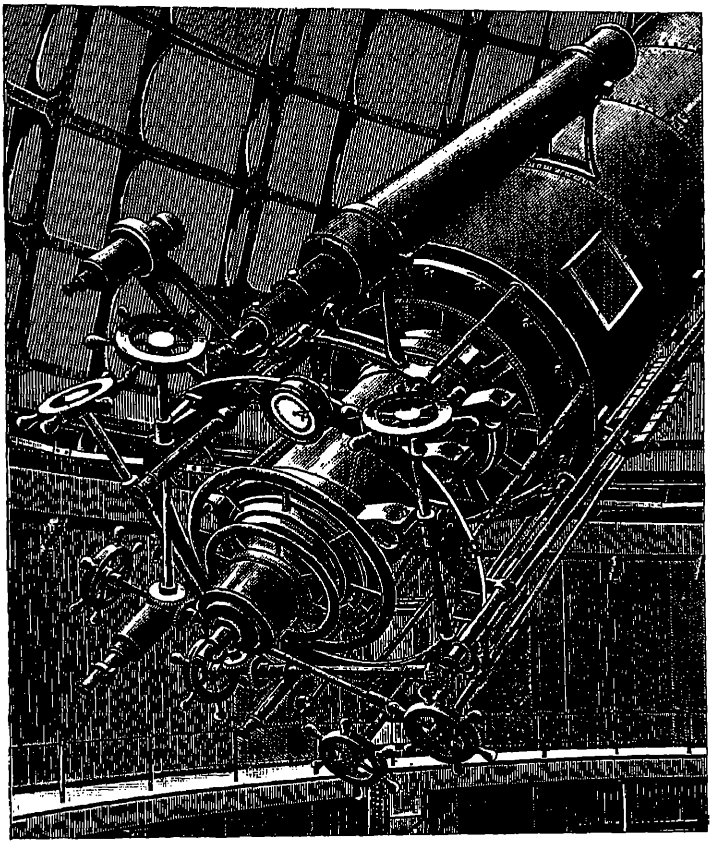


Fig. 1072.

(7,674 m). Sie wird vor dem Objektiv befestigt und hat eine Öffnung von nahe 33 Zoll (0,838 m), während sie die Brennweite um nahe 10 Fuss (3 m) verkürzt. In dem Brennpunktsbild der visuellen Linse entspricht eine Bogensekunde einer linearen Grösse von nicht ganz 0,00276 Zoll (0,07 mm), sodass ein Bild der Sonne sehr nahe 5 Zoll (127 mm) Durchmesser erhält.[1]

Die Säule, welche das Fernrohr trägt, ist ganz derjenigen ähnlich, wie

[1]) Der Guss der Flintglaslinse gelang Feil in Paris im Jahre 1882. Für die Crownglaslinse gelang es aber erst nach neunmaligem Misserfolg eine geeignete Scheibe herzustellen. Auch die Korrektionslinse gelang erst 1887, nachdem Clark eine Scheibe beim Schleifen gesprungen war.

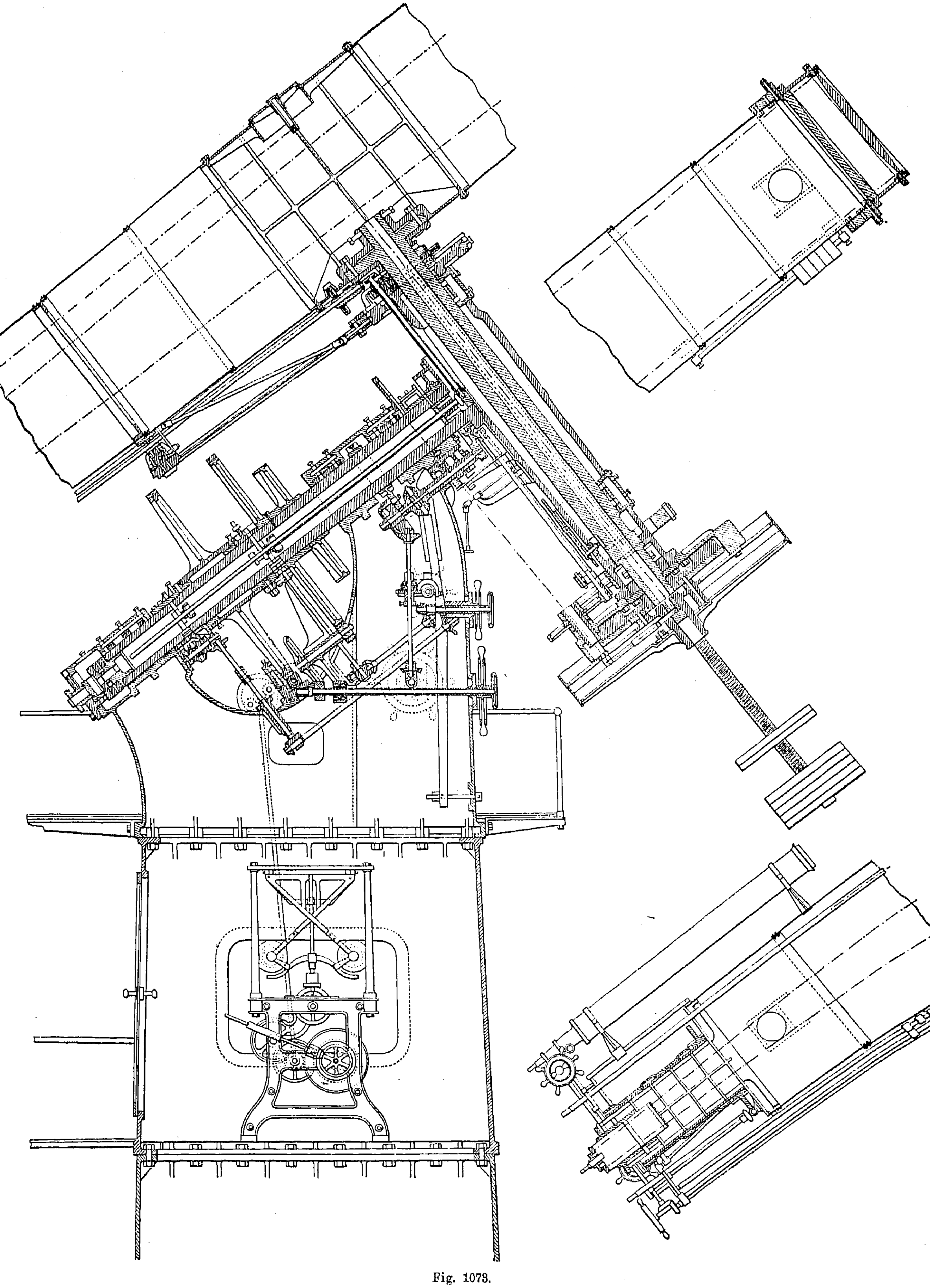
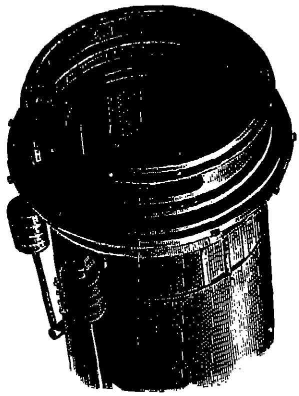


Fig. 1073.
(Nach Engineering 1888.)

sie für den 26Zöller gewählt wurde. Ihre Form und Zusammensetzung geht aus der Fig. 1071 deutlich hervor. Der Kreuzungspunkt von Stunden- und Deklinationsaxe ist 37 Fuss (9,7 m) über der Grundfläche der Säule gelegen. Die Gesammtsäule wiegt 21 Tonnen,[1]) während das Gewicht des ganzen Instrumentes 40 Tonnen beträgt.

Die Montirung ist so eingerichtet, dass fast alle Bewegungen und Einstellungen sowohl vom Okular aus durch den Beobachter selbst als auch von anderen Stellen aus durch Assistenten ausgeführt werden können.

Im ersteren Fall kann das Fernrohr in Deklination geklemmt und feinbewegt werden. Der Deklinationskreis kann an zwei Verniers abgelesen werden, ebenso kann in Rektascension geklemmt und dem Instrument eine langsame Bewegung ertheilt werden. Der Beobachter kann vom Okulare aus den Stundenkreis ablesen und das Triebwerk sowohl in Bewegung setzen als anhalten. Die Einrichtung der Axen und ihre Lagerung zeigt der Querschnitt in Fig. 1073. Sie ist so sorgfältig getroffen und die Äquilibrirungen des ganzen Instruments derartig ausgeführt, dass ein Druck von etwa 10 Pfund auf die Griffe des Handrades für schnelle Drehung im Stundenwinkel genügt, um das Instrument in Bewegung zu setzen.


Fig. 1074.

Die Polaraxe ist 10 Fuss lang, sie hat einen Durchmesser von 12 Zoll im oberen und 10 Zoll im unteren Lager und ist mit einer Bohrung von 6 Zoll Weite versehen, am oberen Ende geht sie in einen 28 Zoll breiten und 3 Zoll dicken Ring über, an dem die Büchse der Deklinationsaxe angeschraubt ist. Die Axe allein wiegt 2700 Pfund.[1]) Durch die Bohrung hindurch geht die Stange, welche die Klemmung und Feinbewegung im Stundenwinkel vom Okular aus vermittelt. Oberhalb des oberen Lagers ist das ganze Gewicht der beweglichen Theile wie gewöhnlich durch einen Rollenring balancirt, der die Axe umfasst und von zwei Hebeln gestützt wird, die zu beiden Seiten der Polaraxe im Innern des Lagerkastens herabgehen und durch entsprechende Schrauben an die Nordfläche desselben gezogen werden können.[2])

Die Einrichtung des Ringes geht aus Fig. 1075 deutlich hervor, nur ist besonders auf die Lagerung der Rollen aufmerksam zu machen, welche zwischen „Spitzen“ geführt und von Kugeln gegen die Ringflächen gestützt sind, wodurch eine sehr geringe Reibung erzielt wird. Auch am unteren Ende ist die Polaraxe nicht auf einer Fläche oder auf dem Ende einer Schraube geführt, sondern es sind auch dort in zwei koncentrischen Rillen 47 gehärtete Stahlkugeln in der aus Fig. 1076 ersichtlichen Weise zwischen Axenende und Stützfläche gelagert.

Die Deklinationsaxe, welche etwa 2400 Pfund wiegt, ist 10 Fuss 6 Zoll

---

[1]) 1 Pfund = 0,4536 kg. 1 Tonne = 1016 kg.

[2]) Das Gewicht der ausbalancirten Theile ist etwa 20 000 Pfund.

lang und in dem dem Fernrohr nahen Lager 10 Zoll und im anderen Lager $9^1/_2$ Zoll dick.

Ebenso wie die Polaraxe ist auch die Deklinationsaxe bezüglich des bei weitem grössten Theiles ihres und des Rohrgewichtes (9000 Pfund) in den Lagern balancirt. Ein Rollenring umfasst dieselbe zwischen Fernrohr und dem diesem zunächst gelegenen Lager; zwei Hebel stützen diesen Ring und

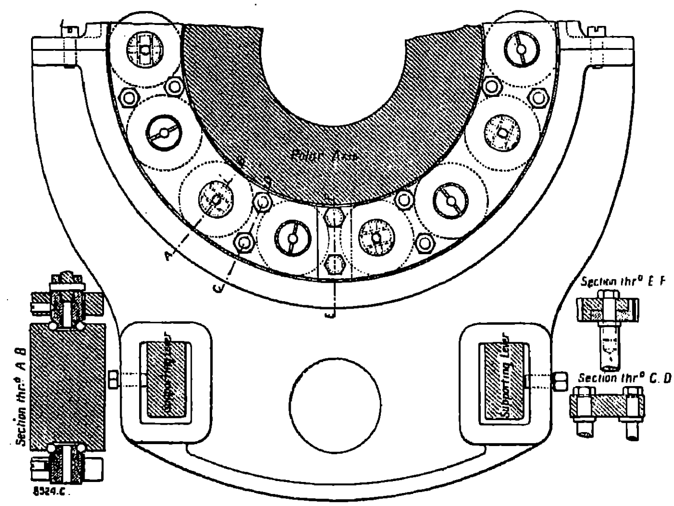


Fig. 1075.

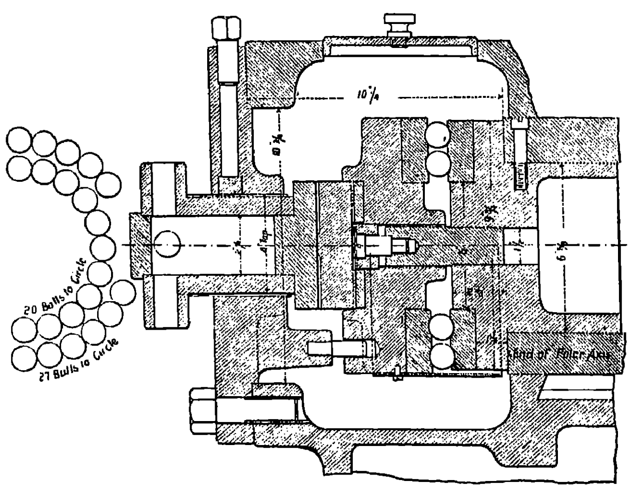


Fig. 1076.

haben ihre Drehpunkte an dem Mitteltheil der Büchse; als Gegengewicht dient ein schwerer Ring, in welchen die langen Hebelarme eingreifen und der die Deklinationsbüchse nahe ihrem Ende mit grossem Spielraum umgiebt. Durch diese Anordnung ist die Äquilibrirung für alle Lagen der Deklination gesichert. Das Gewicht des Fernrohrs und die mit ihm verbundenen Theile sind mit Bezug auf die Polaraxe durch eine Reihe von Gewichtsscheiben äquilibrirt, die sich auf einer langen Schraubenspindel verstellen lassen (je

nach den mit dem Fernrohr jeweilig verbundenen Hülfsapparaten). Dieser Schaft ist aber nicht an die Deklinationsaxe angesetzt, sondern befindet sich nur in deren Verlängerung, aber in fester Verbindung mit der Axenbüchse.

Das Fernrohr ist ganz ähnlich dem des 26 Zöllers gebaut. Das cylindrische Centralstück hat 48, das Objektivende 38 und das Okularende 36 Zoll im Durchmesser und die Metallstärke beträgt in der Mitte $^1/_8$ Zoll (3,2 mm) und an den Enden $^1/_{12}$ Zoll (2,2 mm). Dabei hat es eine solche Starrheit, dass bei horizontaler Stellung eine an beiden Enden angehängte Last von einer Tonne die Durchbiegung nur um je $^1/_4$ Zoll (6.3 mm) vermehrt.

Einen Einblick in die Einrichtungen am Okularende geben die beiden Fig. 1077, 1078 in Verbindung mit der perspektivischen Darstellung desselben, Fig. 1072. Daraus ist zu ersehen, dass das Okularende zunächst von einem Rahmen umgeben ist, welcher die Träger für das Spektroskop aufnimmt (vergl. Fig. 731 auf S. 754). Dieser Rahmen trägt auch die Klemm- und Feinbewegung zum Positionskreis. Die Fokaleinstellung wird durch ein mit dem Okularstutzen koncentrisches Zahnrad bewirkt, welches in drei Schrauben eingreift, welche symmetrisch neben dem Rohre angeordnet sind und deren Spindeln parallel der optischen Axe liegen. Ein zweiter Ring von grösserem Durchmesser umgiebt ebenfalls das Okularende, er dient den verschiedenen Stangen und Handrädern zur Bewegung des Fernrohrs und zu seiner Fixirung in der erlangten Position, sowie den Ablesemikroskopen zur Befestigung und Führung. Auch eine Uhr mit Chronometergang ist an diesem Ringe angebracht.[1])

Für gewöhnlich sind an dem Fernrohre drei Sucher angebracht, je einer von $2^3/_4$, 4 und von 6 Zoll Öffnung, doch ist auch Vorsorge getroffen, dass das 12 zöllige Fernrohr, welches die Sternwarte besitzt, mit dem grossen Instrumente verbunden werden kann.

Der Stundenkreis auf der Polaraxe hat 3 Fuss Durchmesser und ist auf seinem cylindrischen Rande von 20 zu 20 Minuten grob getheilt und mit grosser Bezifferung versehen; auf der dem Pole zugekehrten Fläche hat er eine feine Theilung auf Silber von 5 zu 5 Minuten, die durch zwei Mikroskope von der den Pfeiler umgebenden Gallerie aus abgelesen werden kann. An dem oberen Lager der Polaraxe ist weiterhin ein fester Theilkreis angebracht, der ebenfalls von 5 zu 5 Minuten getheilt ist und vom Okularende aus vom Beobachter selbst abgelesen werden kann, indem die Lichtstrahlen nach rechtwinkliger Reflexion und ihrem Durchgange durch die Deklinationsaxe wiederum mittelst mehrerer Prismen nach dem Limbus des Kreises geleitet werden (vergl. Fig 1073). Auf der Deklinationsbüchse ist ganz nahe dem Fernrohr ein Kreis von 3 Fuss Durchmesser aufgeschraubt, der von 5 zu 5 Minuten getheilt, ebenfalls vom Okularende aus mittelst zweier Mikroskope bis auf 12 Sekunden abgelesen werden kann. Ein grosser Kreis von 6 Fuss Durchmesser befindet sich am unteren Ende der Axenbüchse, der nur in ganze Grade getheilt und augenfällig beziffert, an zwei Indices abgelesen

[1]) Die Uhr ist als selbstständiges Werk gebaut und nicht als elektrisches Sekundärwerk, wie bei dem Pulkowaer Refraktor. Es hat das bei der untergeordneten Bedeutung derselben kaum ein Bedenken.

werden kann, die mit der Deklinationsaxe verbunden sind. Die Einstellungen können auch ausserdem an einer den oben beschriebenen „Sucherkreisen" gleichen Einrichtung abgelesen werden.

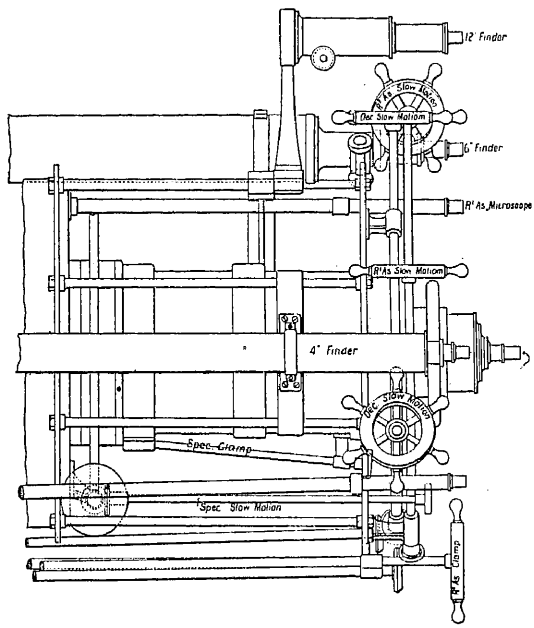


Fig. 1077.

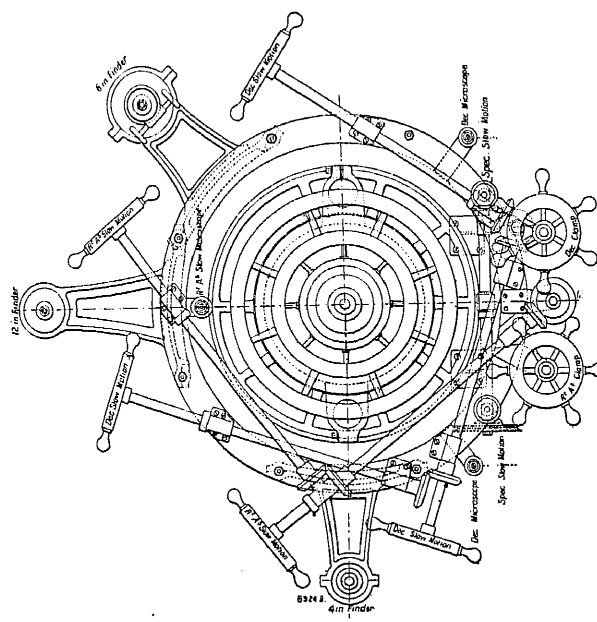


Fig. 1078.

Sollen mit dem Fernrohr nach Anfügung der Korrektionslinse photographische Aufnahmen gemacht werden, so muss, da durch diese Linse, wie erwähnt, die Brennweite um etwa 3 m verkürzt wird, die Kamera an einer Stelle in das Fernrohr eingeführt werden, die um diesen Betrag vom Okularende entfernt ist. Es wäre nicht möglich gewesen, ein solches Stück des Rohres zum Abnehmen einzurichten, deshalb ist in demselben an der erforderlichen Stelle eine Klappe von 23 Zoll Höhe und 12 Zoll Breite angebracht, durch welche sowohl die Kassette mit Platte, als auch der zur Aufnahme dieser Theile dienende Rahmen eingeführt resp. gehandhabt werden kann. Dieser Rahmen kann auch noch zur Anbringung eines Vergrösserungsapparates verwendet werden. Damit die nöthigen Einstellungen und Korrekturen vorgenommen werden können, ist die Öffnung im Rohre so weit gewählt worden, als es ohne die Stabilität des Rohres zu schädigen anging. Der Vergrösserungsapparat sowohl wie der Plattenhalter kann um etwa 12 Zoll (305 mm) längs der optischen Axe verschoben werden, um die verschiedenen Strahlen zu intensiverer Wirksamkeit gelangen zu lassen.

Es würde gewiss von technischem Interesse sein, auch hier noch die

Konstruktionen der verschiedenen Klemm- und Bewegungsübertragungen eingehend zu erläutern, da dieselbe in Anbetracht der grossen Massen, die bewegt werden sollen, und zwar von verschiedenen Punkten aus, von sehr

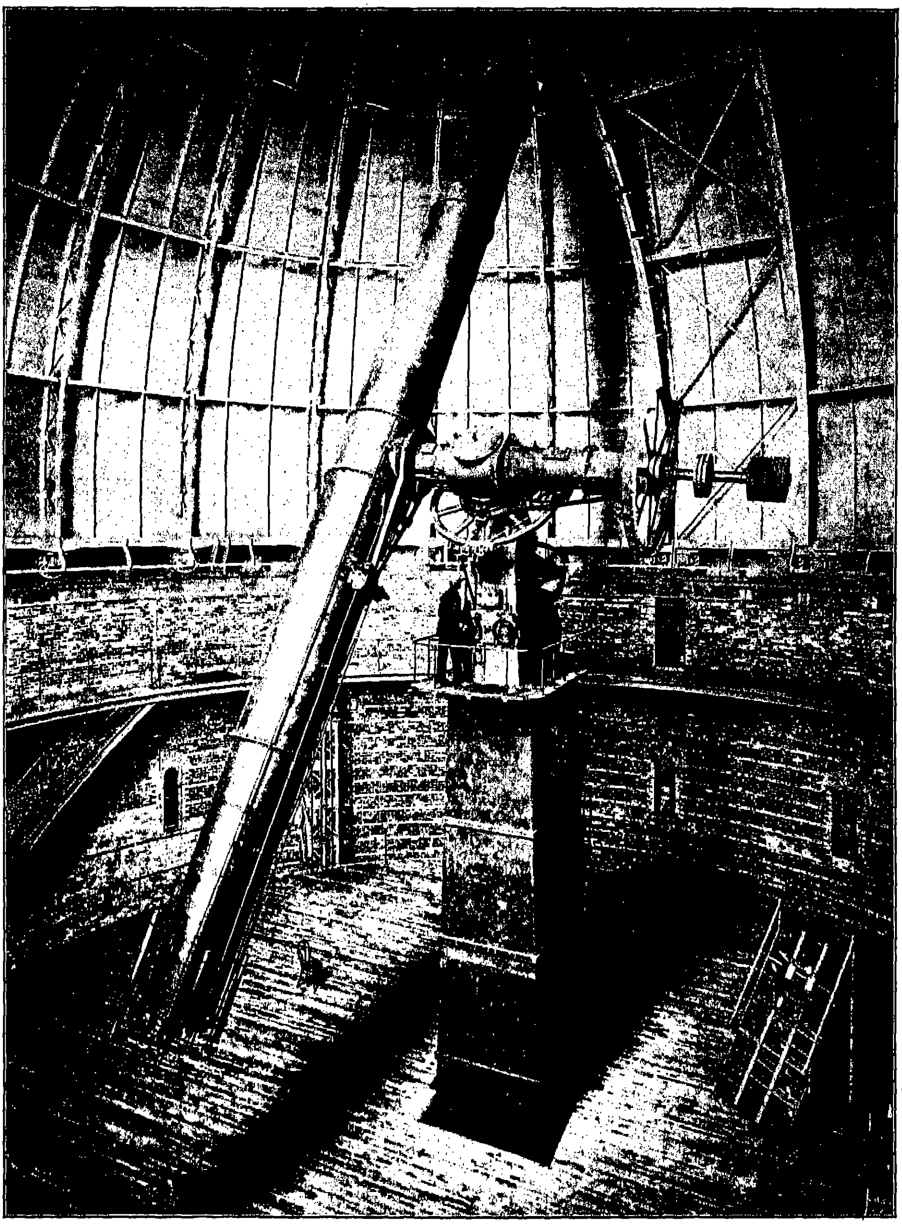


Fig. 1079.

komplicirter Einrichtung sein müssen und dabei doch eine absolut sichere Wirkung hervorbringen sollen. Einen allgemeinen Überblick auch dieser Theile des Instrumentes giebt Fig. 1073. Obgleich der Maassstab der Figur etwas klein gewählt werden musste, sodass die kleineren Konstruktionstheile

schwer zu erkennen sind, muss ich mir hier doch versagen, weiter in Details einzugehen, da sonst ein ganz unverhältnissmässig grosser Raum durch Figuren und Beschreibung dieses Instrumentes in Anspruch genommen würde. Ich muss vielmehr in dieser Richtung auf die eingehenden Mittheilungen verweisen, welche von sachverständiger Seite in dem Jahrgang 1888 der Zeitschrift „Engineering“ an verschiedenen Stellen gegeben worden sind und denen auch mit besonderer Erlaubniss des Herausgebers das Vorstehende sowie die Figuren entnommen wurden.

Zur Erläuterung des Baues des grössten bis jetzt hergestellten Refraktors, desjenigen des Yerkes-Observatoriums, gebe ich hier ausser der schon erwähnten Durchschnittszeichnung, Fig. 1080, noch die Abbildung 1079, welche eine perspektivische Ansicht darstellt. Im Übrigen mögen hier nur noch die wesentlichen Dimensionen der einzelnen Theile angegeben und die Bemerkung hinzugefügt werden, dass bei den grossen zu bewegenden Massen an die Stelle des Handbetriebes der Klemmen und Bewegungen fast durchweg elektrische Einrichtungen getreten sind, die, soweit bis jetzt bekannt, vorzüglich funktioniren und es z. B. gestatten, das grosse Fernrohr von der Ost-Lage nach der West-Lage in einer Zeit von wenig mehr als einer Minute umzulegen. Ebenso arbeitet die Feinbewegung so, dass es gelingt, das Instrument so sicher zu bewegen und zu klemmen, dass das Bild eines Sternes direkt am gewünschten Ort (an einem Faden) zum scheinbaren Stillstande im Gesichtsfelde kommt. Die Säule ist eine aus 4 hohl und durchbrochen gegossenen Kästen bestehende, sich nach oben von 11×5 Fuss auf 10×5 verjüngende Pyramide, die auf einem zweitheiligen, schweren Fusstheile von 13×14 Fuss Grundfläche ruht, welcher seinerseits in dem aufgemauerten Pfeiler verankert ist.

Das Obertheil ist von derselben Form wie bei dem Lick-Fernrohr und nimmt in seinen Lagern die Stundenaxe auf. Diese und die Deklinationsaxe sind aus geschmiedetem Stahl. Erstere ist $13^1/_2$ Fuss lang und hat am oberen Lager einen Durchmesser von 15 Zoll und am unteren einen solchen von 12 Zoll. Der Lagerdruck und die Reibung werden ganz in derselben Weise aufgehoben, wie es beim Lick-Fernrohr beschrieben worden ist. Direkt über dem oberen Lager ist der Uhrkreis mit 8 Fuss (2,4 mm) Durchmesser angebracht. Er allein wiegt etwa eine Tonne (1016 kg), und wenn er mit der Polaraxe verbunden ist, hat er eine Masse von über 20 Tonnen in Bewegung zu setzen. Die Deklinationsaxe hat bei einer Länge von $11^1/_2$ Fuss einen Durchmesser von 12 Zoll in den Lagern; auch sie wird in derselben Weise ausbalancirt, wie oben beschrieben. Man vergleiche dazu die Querschnittszeichnung Fig. 1080.

Das Rohr ist aus Stahlblech und hat am Mitteltheil eine Dicke von $^7/_{32}$ Zoll (5,56 mm), am Objektiv- und Okularende aber nur $^1/_8$ Zoll (3,18 mm). Der Durchmesser des Rohres beträgt in der Mitte 52 Zoll (1,32 m), am Objektivende 42 Zoll (1,067 m) und am Okularende 38 Zoll (0,965 m). Die Länge ist 60 Fuss (18,3 m); das Gewicht 6 Tonnen.

Das Objektiv, das letzte Werk Alvan Clark's, hat 40 Zoll (1,016 m) Durchmesser; es besteht aus der Crownglaslinse, welche in ihrer Mitte $2^1/_2$ Zoll

(63,5 mm) und am Rande noch $^3/_4$ Zoll (19 mm) dick ist und 200 Pfund wiegt. Die Flintglaslinse steht $8^3/_8$ Zoll (212,7 mm) von der ersteren ab und hat in der Mitte $1^1/_2$ Zoll (38,1 mm) und am Rande 2 Zoll (50,8 mm). Ihr Ge-

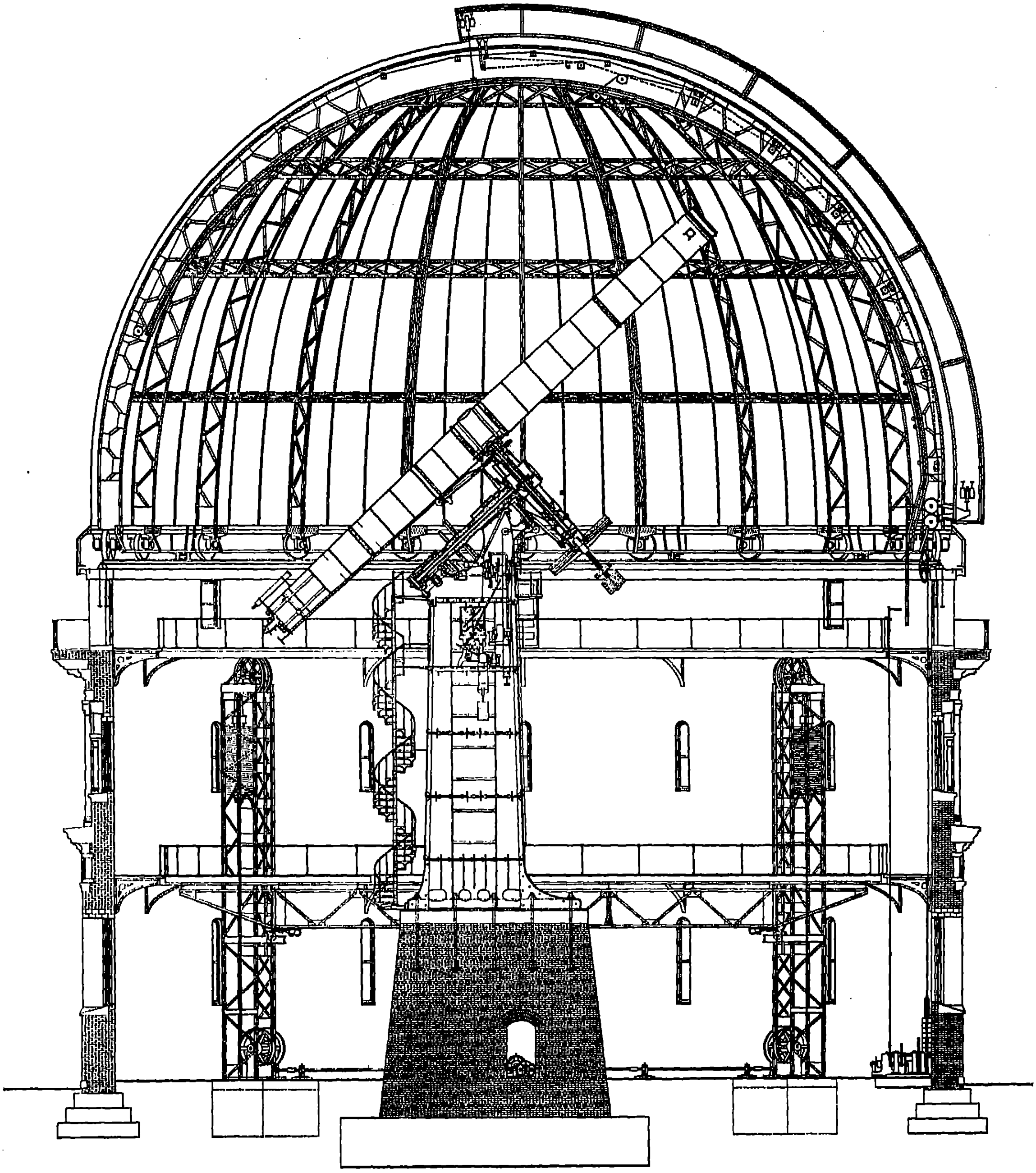


Fig. 1080.

wicht beträgt über 300 Pfund. Die Linsen sind auf Aluminiumträger in einer gusseisernen Zelle gefasst. Die Gesammtbrennweite beträgt etwa 62 Fuss (18,9 m).

Professor KEELER berichtet im Astrophysical Journal vom Februar 1896 über die optische Leistung des Objektivs: Die ausgebreiteten Bildchen der Sterne sind sowohl innerhalb als ausserhalb der Brennebene völlig gleichmässig hell. Auch in verschiedenen Höhen ist die Bildbeschaffenheit mit Rücksicht auf den verschiedenen Luftzustand gleich gut mit der des Lick-Fernrohrs, während die Helligkeit der Bilder ganz erheblich grösser ist, als bei jenem Instrument. Die chromatische Korrektion lässt ebenfalls nichts zu wünschen übrig.

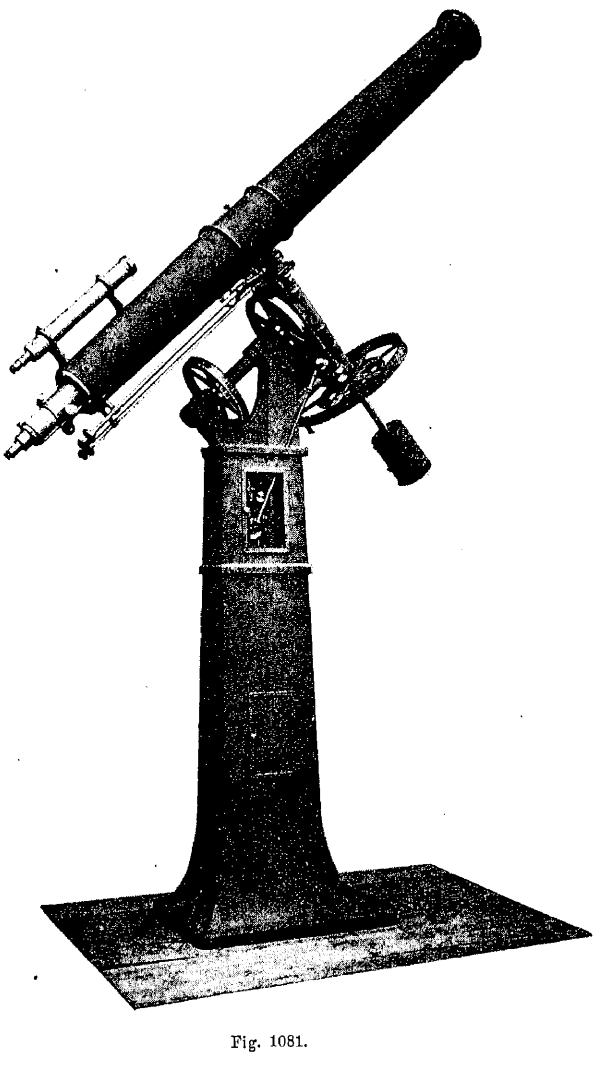


Fig. 1081.

Dem Instrument sind 11 Okulare von STEINHEIL beigegeben, welche eine Vergrösserung zwischen 230- und 3750mal hervorbringen, wobei der Durchmesser des Gesichtsfeldes zwischen 396″ und 28″ variirt. Für gewöhnlich werden die Okulare mit 460- und 700facher Vergrösserung verwandt. Das beigegebene Mikrometer entspricht dem auf Seite 540 beschriebenen und ist für elektrische Feld- und Fadenbeleuchtung eingerichtet. Es ist nach den Angaben BURNHAM's konstruirt.

Auch kleinere Instrumente werden von WARNER & SWASEY in eleganter Form gebaut, wie die Fig. 1081 und 1082 zeigen. Die letztere Figur stellt einen Refraktor von $9^1/_2$ Zoll Öffnung und 11 Fuss 4 Zoll Brennweite dar. Derselbe ist auf einer hohlgegossenen, schweren Eisensäule A von nahezu quadratischem Querschnitt montirt, welche unten glockenförmig ausläuft und nach Norden etwas verlängert ist, um den Schwerpunkt mehr in die Mitte des Fusses zu bringen.

Der Aufsatz B, welcher als Verlängerung der Säule zu betrachten ist, nimmt die Polaraxe auf, welche bei C den Stundenkreis und seine Nonien trägt. Der Kreis hat 12 Zoll Durchmesser und besitzt eine doppelte Theilung; eine grobe, zum Ablesen mit freiem Auge, und eine feine, welche auf

Silber direkt in Zeitminuten getheilt, an zwei diametralen Nonien eine Ablesung von 5^s gestattet.

Ausser dem Stundenkreis trägt die Polaraxe unter diesem noch ein Zahnrad, in welches ein kleineres Getriebe eingreift. Die Axe dieses Getriebes durchsetzt den Aufsatz B und endet in ein Griffrad D, durch welches der Polaraxe und damit dem ganzen Instrument eine rasche Bewegung in Rektascension ertheilt werden kann, was die Einstellung besonders in der Nähe der Pole sehr erleichtert.

Das untere Ende der Polaraxe dreht sich auf einem gehärteten Stahlzapfen, das obere Ende läuft in einem cylindrischen Lager. Um dem grossen Druck der Gesammtlast der beweglichen Theile auf das obere Lager der Polaraxe entgegen zu wirken, ist eine kräftige Stahlfeder an dem Aufsatz B angebracht, welche mittelst einer Schraube zwei Rollen von unten derart gegen die Polaraxe drückt, dass sich letztere sehr leicht im oberen Lager bewegen kann. Nahe dem oberen Ende der Polaraxe sitzt das grosse, mit einem Schraubengang gezahnte Rad E von 16 Zoll Durchmesser; bei J findet der Eingriff der Schneckenschraube, welche vom Uhrwerk durch zwei Paar konischer Räder getrieben wird, auf gewöhnliche Weise statt. Der Druck der Schraube gegen das Schraubenrad lässt sich mittelst einer Feder und Schraube beliebig reguliren.

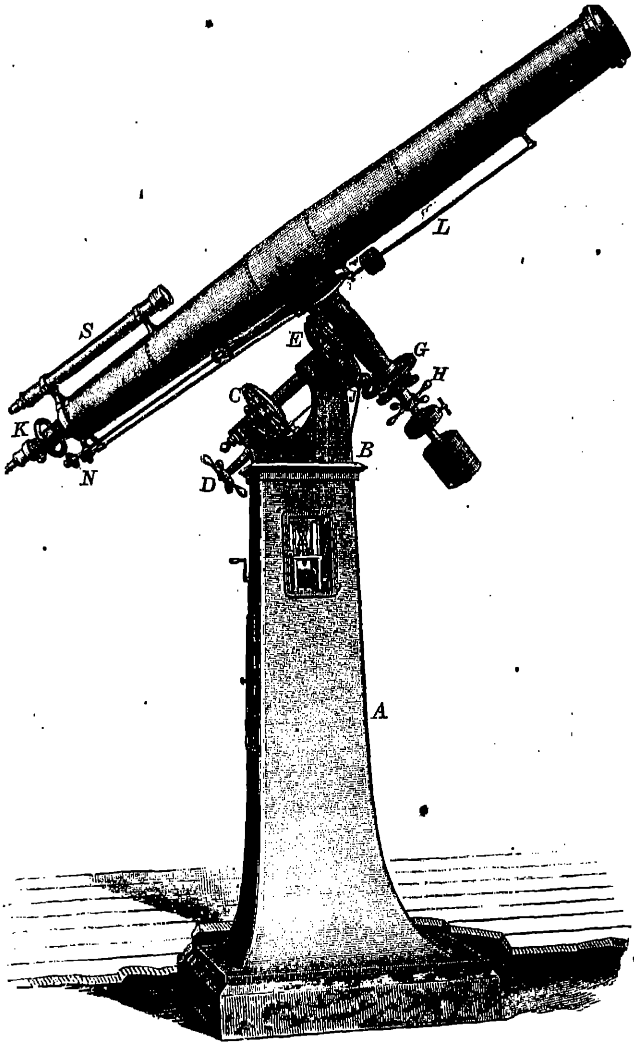


Fig. 1082.

Das Schraubenspindelrad sitzt frei auf der Polaraxe und lässt sich auf dieser direkt nicht klemmen. Dagegen ist auf der Nabe dieses Rades eine Rinne eingedreht, auf welcher sich ein Segment fest mit dem Rade verbinden

lässt. Das untere Ende der Büchse für die Deklinationsaxe trägt den Deklinationskreis G von 12 Zoll Durchmesser. Er besitzt ebenfalls neben einer groben Theilung auf der Cylinderfläche zum Ablesen mit freiem Auge, eine feine, welche auf Silber direkt in Viertelgrade getheilt ist und an zwei diametralen Nonien noch Bogenminuten abzulesen gestattet.

Unterhalb dieses Kreises befindet sich eine Kombination von Zahnrädern mit Übersetzung, welche mit dem Griffrad H in Verbindung stehen, mit welchem dem Fernrohr eine rasche Bewegung in Deklination ertheilt werden kann. Am unteren Ende der Deklinationsaxe sitzt das grosse Gegengewicht und über diesem ein kleineres, durch welches sich das Instrument leicht ausbalanciren lässt, falls das Gleichgewicht durch die Anbringung eines Spektral- oder anderen Apparates am Fernrohre gestört wird.

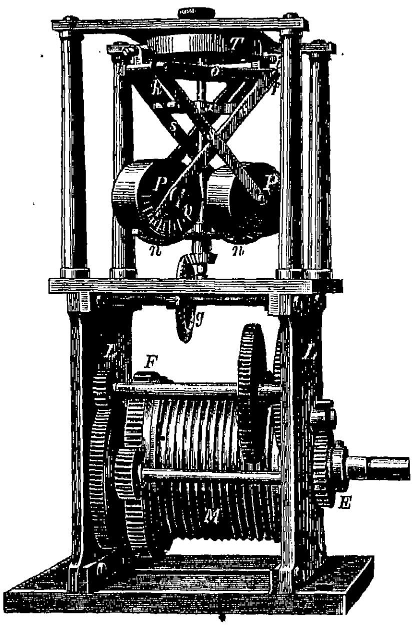


Fig. 1083.

Die Objektivfassung sitzt in einem Messingring, welcher zum Centriren des Objektivs mit drei Zug- und drei Druckschrauben versehen ist. Am oberen Blechkonus ist auf zwei Trägern eine mit Laufgewicht versehene Stahlstange L befestigt, um die Balancirung zwischen Objektiv und Okular bewerkstelligen zu können.[1] Der kürzere untere Konus hat den Okularauszug, den Sucher S und die Schlüssel zum Klemmen und Feinbewegen der Axen aufzunehmen.

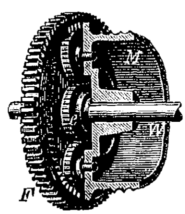


Fig. 1084.

Der Okularauszug trägt bei K einen Ring aus Holz, welcher als Handhabe dient, um dem Fernrohr eine rasche, freihändige Bewegung ertheilen zu können.

Die Klemmungen und Feinbewegungen in beiden Koordinaten können vom Okularende aus besorgt werden. Die Übertragung ist eine der Repsold'schen sehr ähnliche, wie sie in Fig. 498 dargestellt ist.

Der Stundenkreis ist mit einem vom Uhrwerk getriebenen Zeiger versehen, welcher sich mit dem Kreis bewegt, aber unabhängig von diesem, weil seine Bewegung kontinuirlich ist. Um den Zeiger für eine abendliche Arbeit zu stellen, ist es nur nöthig, die Uhr in Gang zu setzen, das Fernrohr auf einen bekannten Stern in der Nähe des Meridians einzustellen und festzuklemmen. Bewegt man dann den Zeiger, bis er am Stundenkreis mit der Rektascension des Sterns übereinstimmt, so zeigt das Uhrwerk Sternzeit und es wird also nach jeder Verstellung des Fernrohrs an dem Zeiger auf dem

[1]) Diese Einrichtung findet sich bei englischen und amerikanischen Instrumenten häufig, neuerdings wird sie auch in deutschen Werkstätten eingeführt.

Stundenkreise direkt die Rektascension desjenigen Stundenkreises abgelesen, in welchem sich die optische Axe des Fernrohres gerade befindet. Hierdurch wird die Einstellung eines bestimmten Objektes direkt nach einem Sternkatalog sehr bequem gemacht.

Das Uhrwerk für dieses kleine Instrument ist ganz gleich dem, welches den grossen Instrumenten beigegeben wird, nur in den Dimensionen entsprechend verändert. Es soll dasselbe daher hier noch etwas eingehender beschrieben werden. Die Fig. 1083 u. 1084 stellen die für die Instrumente bis etwa 12 Zoll gebräuchlichen dar, während die Fig. 1085, 1085a eine Darstellung des zum Lick-Fernrohr gehörigen Triebwerkes und der Lagerung der Aufzugwelle desselben geben.

Das Uhrwerk wird kontrolirt durch ein Watt'sches Pendel; die beiden Gewichte des Regulators sind so mit einander verbunden, dass jedes unabhängig von dem andern die Bewegung des Instrumentes regulirt. Dieses geschieht durch zwei Stifte, welche beständig gegen eine gehärtete

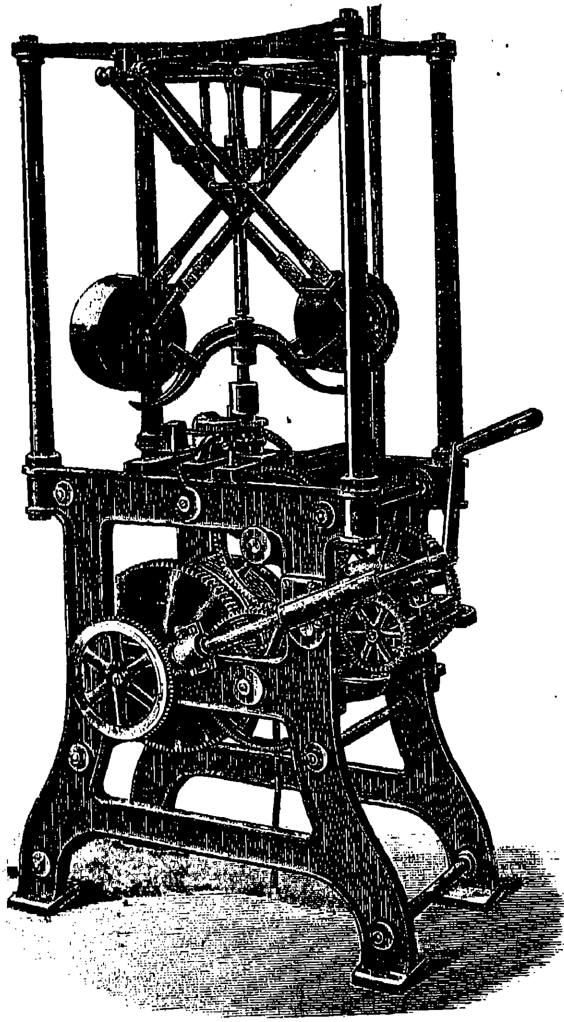


Fig. 1085.

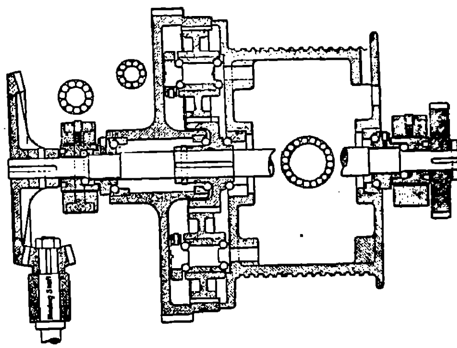


Fig. 1085a.

Stahlscheibe schleifen. Die Pendelgewichte sind nicht mit den Gabeln verbunden, welche die Stifte führen, sondern zu jeder Zeit frei, ihre theoretische Position einzunehmen, wodurch dem Instrument eine konstante Bewegung ertheilt wird. Die nähere Einrichtung ist folgende: Das Räderwerk ist in einem kräftigen Messingrahmen L L, Fig. 1083, gelagert, dessen von vier Säulen gebildeter Aufsatz zur Aufnahme des Regulators dient. Die Windetrommel M sitzt lose auf ihrer Welle und ist mit dem Bodenrade F durch ein Umlaufgetriebe verbunden. Auf dieser Welle ist ein Sperrrad E

und am anderen Ende ein kleines Zahnrad e, Fig. 1084, befestigt; das letztere greift in zwei Getriebe ein, welche auf Zapfen laufen, die einander diametral gegenüber in dem Boden der Windetrommel eingeschraubt sind. Die beiden Triebe greifen ausserdem in ein Hohlrad ein, welches mit dem ebenfalls lose auf derselben Welle laufenden Bodenrad F in einem Stück gegossen ist. Dadurch kann man das Uhrwerk selbst während einer Beobachtung aufziehen; denn infolge der Wirkung der Übertragungsräder bleibt die treibende Kraft des Gewichtes auch während des Aufziehens konstant. Das Gewicht wirkt an dem vorderen, in Fig. 1084 weggeschnittenen Theile der Trommel M und dreht diese also links herum. Die beiden Zwischenräder gehen mit, und da sie in Eingriff mit dem durch die feststehende Welle W ebenfalls festgehaltenen Rade e stehen, so drehen sie das Bodenrad auch links herum. Wird nun während des Aufziehens der Welle W und dadurch auch dem Zwischenrade e von der Hand ein nach rechts drehendes Moment ertheilt, welches genau so gross ist, als das vom Gewicht auf die Trommel M ausgeübte, so kommt letztere zum Stillstande. Das freihändig erzeugte Moment überträgt sich dann aber von e durch die jetzt stillstehenden Zwischenräder links drehend auf das Bodenrad F und unterhält dadurch das Uhrwerk im Gang.

Der Zug der Zahnräder endigt in dem Kronrade g, Fig. 1083, welches eine vertikale Welle treibt, die den Reibungsregulator trägt; auf der Regulatorspindel ist ein Querstück x befestigt, dessen gabelförmige Enden die Axen der beiden Bremshebel k aufnehmen; letztere stützen sich, um nicht zurück zu fallen, mit einem Vorsprung am unteren Ende gegen das Querstück x. Die beiden Bremshebel tragen nahe ihren oberen Enden bei f f die Axen der vier winkelartig geformten Pendelstangen s s. Diese sind oben bei o paarweise mit einem Stift, welcher nach innen in einem Schlitz spielt, frei beweglich verkuppelt und tragen nach unten die beiden cylindrischen Pendelgewichte P P, welche lose auf langen Bolzen montirt sind und sich zwischen den Pendelstangen durch zwei Schrauben v festklemmen lassen.

Die Pendelgewichte sind zur Einstellung der Geschwindigkeit des Pendels excentrisch parallel ihrer Axe durchbohrt und mit einer Skale versehen. Zum Ablesen der Skale dienen die zeigerartigen Verlängerungen je zweier Pendelstangen. Die Pendelgewichte stützen sich in ihrer Ruhelage auf das Querstück n n, welches über dem Getriebe der Regulatorspindel befestigt ist. Über den Axen der Pendelstangen ist an jedem der beiden Bremshebel k eine Nase angegossen, in welcher eine Schraube i i verstellbar ist. In diese Schrauben sind dicke Stifte aus Papier-mâché eingeführt, welche als Bremsen dienen und mit der Bremsscheibe T in Berührung stehen. Die Regulirung geht nun folgendermassen vor sich: Wenn die Gewichte P P des Kegelpendels auseinandergehen, so werden sie die oberen Enden der beiden Bremshebel k k der Bremsscheibe T zu nähern streben und dadurch die Schrauben i i mit den Bremsen um so stärker gegen die Bremsscheibe T drücken, je grösser die Geschwindigkeit und mithin die Öffnung des Pendels und damit die wirkende Komponente der Centrifugalkraft ist. Wenn man also für eine gewisse Schnelligkeit das Uhrwerk eingestellt hat, so wird bei derselben

eine bestimmte Reibung zwischen den Bremsen und der Scheibe T entstehen, welche den Kraftüberschuss verbraucht. Entsteht nun im Innern des Apparates eine Störung, welche denselben bei den obwaltenden Widerständen langsamer zu laufen zwingen würde, so werden sich die Pendel senken; die Reibung wird am Regulator abnehmen und somit den Kraftüberschuss von da zum Ausgleichen der Störung übertragen. Nachdem die Störung aufgehört hat, öffnet sich das Pendel und stellt den Regulator auf seine Normalreibung wieder ein.[1])

In Fig. 1086 gebe ich eine Ansicht der von SAEGMÜLLER gewählten Form dieser Triebwerke und schliesse daran als Beispiel die Berechnung eines solchen Regulators, wie sie für ein 12zölliges Instrument ausgeführt wurde.[2])

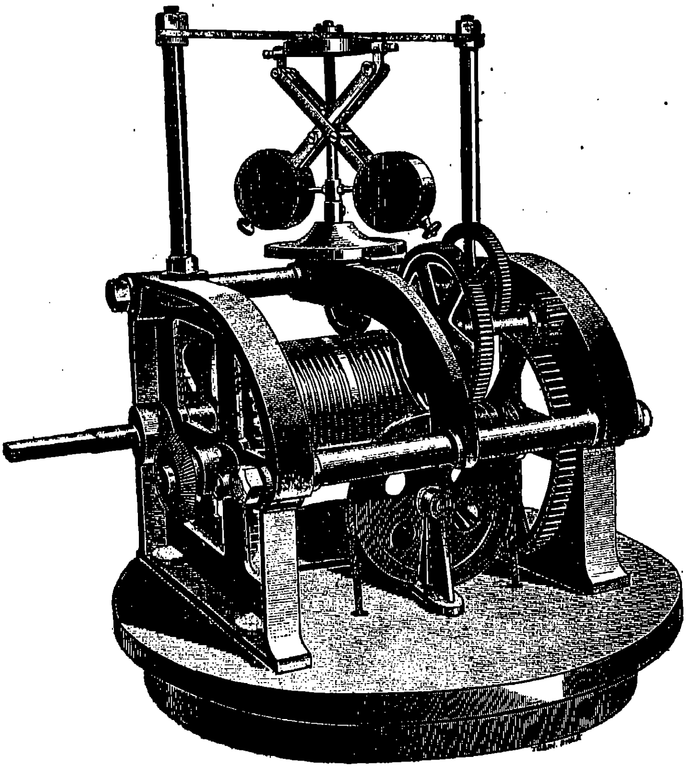


Fig. 1086.

Nimmt man als erforderliche Triebkraft für 1 Zoll freier Öffnung 360 Pfund an, so würden für 12 Zoll $12 \times 360 = 4320$ Pfund zur Anwendung gelangen müssen.

---

[1]) Die Idee, ein „rotirendes, isochrones, konisches Pendel“ derart einzurichten, dass das Pendel selbst absolut frei und in seiner Bewegung ungestört ist, während der Arm, an welchem es hängt, in Folge der geringeren oder grösseren Amplitude des Pendels eine Friktion bewirkt, deren Grösse mit der linearen Geschwindigkeit der Pendelkugel veränderlich ist, rührt von Prof. C. A. Young in Princeton, N. Y., her. Dieses Princip liegt dem obigen in sehr ingeniöser Weise ausgeführten doppeltwirkenden Regulator von Warner & Swasey sowohl als auch dem weiterhin zu beschreibenden Saegmüller'schen Triebwerke zu Grunde.

[2]) Die Daten der hier gegebenen Rechnung sind mir von H. Saegmüller zur Verfügung gestellt und ich gebe dieselben in möglichstem Anschluss an das Original.

Ist in Fig. 1087 s der Halbmesser der Bremsscheibe, l die Länge des Pendelarmes, r der Radius des an dem Schwerpunkt des Pendels beschriebenen Kreises, C die Centrifugalkraft und P die Schwere des Pendels, so hat man

$$\frac{C}{P} = \operatorname{tg} \alpha; \quad C = \frac{P}{g} \cdot W^2 r; \quad r = l \sin \alpha - s,$$

wo W die Geschwindigkeit des Pendelgewichtes und g die Schwerkraft ist.

Hieraus folgt $\frac{P}{g} W^2 \; (l \sin \alpha - s) : P = \operatorname{tg} \alpha$

$$\frac{W^2}{g} (l \sin \alpha - s) = \operatorname{tg} \alpha$$

$$W^2 = \frac{g \operatorname{tg} \alpha}{l \sin \alpha - s} \cdot s = l \sin \alpha - \frac{g \operatorname{tg} \alpha}{W^2}.$$

Soll nun der Bremsstift bei B gerade frei werden, so muss s ein Maximum werden, damit erhält man:

$$ds = l \cos \alpha \, d\alpha - \frac{g}{W^2} \cdot \frac{d\alpha}{\cos \alpha}, \quad \text{also } l \cos \alpha = \frac{g}{W^2 \cos \alpha}$$

$$\cos^3 \alpha = \frac{g}{W^2 l} \quad \Bigg| \quad \cos \alpha = \sqrt[3]{\frac{g}{W^2 l}},$$

was also einem Gleichgewichtszustand im Regulator entsprechen muss.

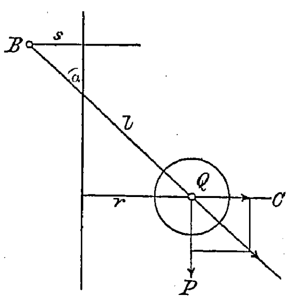


Fig. 1087.

Damit ergiebt sich unter der Annahme von g = 32,17 Fuss für New-York, l = 3,96 Zoll, und bei der weiteren Annahme, dass die Rotationsgeschwindigkeit 150 Umdrehungen in der Minute beträgt, mit einem Spielraume von 2 % = 3 Umdrehungen: $\cos \alpha = 41^0\,57'$.

Nimmt man in runder Zahl 42^0, so findet sich weiterhin s = 1,183 Zoll und damit der Weg, den die Reibstifte in einer Stunde zurücklegen, = 63617 Zoll. Die geleistete Arbeit wird damit = 0,6869.

Wird der Coefficient der Reibung von Eichenholz, aus dem die Stifte bestehen, auf Messing zu 0,34 angenommen, so wird der nöthige Druck zu 0,2020 Pfund, also für einen Hebel zu 0,1010 Pfund gefunden.

Wird weiterhin der Hebel, an dem die Reibungsstifte wirken, zu 1,4 Zoll angenommen, so findet man, wenn die Scheiben sich im Maximum um 10^0 heben sollen, für das Gewicht einer solchen 0,397 Pfund englisch.

c. Instrumente aus der Werkstätte von G. Saegmüller.

Die Werkstätte von Fauth & Co. (Saegmüller) hat bei dem Bau ihrer Äquatoreale mit Ausnahme eines für kleinere Instrumente (4—6 Zoll) bestimmten Modells, dessen wesentliche Theile schon früher im Kapitel „Axen" auf Seite 303 näher beschrieben und abgebildet wurden, im Wesentlichen ihren Instrumenten die in Fig. 1088 zur Darstellung gebrachte Form gegeben.[1])

[1]) Das abgebildete Instrument ist der für das neu ausgerüstete Naval Observatory in Washington gebaute 12-Zöller. Grössere Instrumente wurden für Manila (20 Zoll engl.) und in neuer Zeit für Denver, Fig. 1089, (20 Zoll) gebaut, die aber im Wesentlichen bis auf die Massenverhältnisse mit dem hier beschriebenen übereinstimmen.

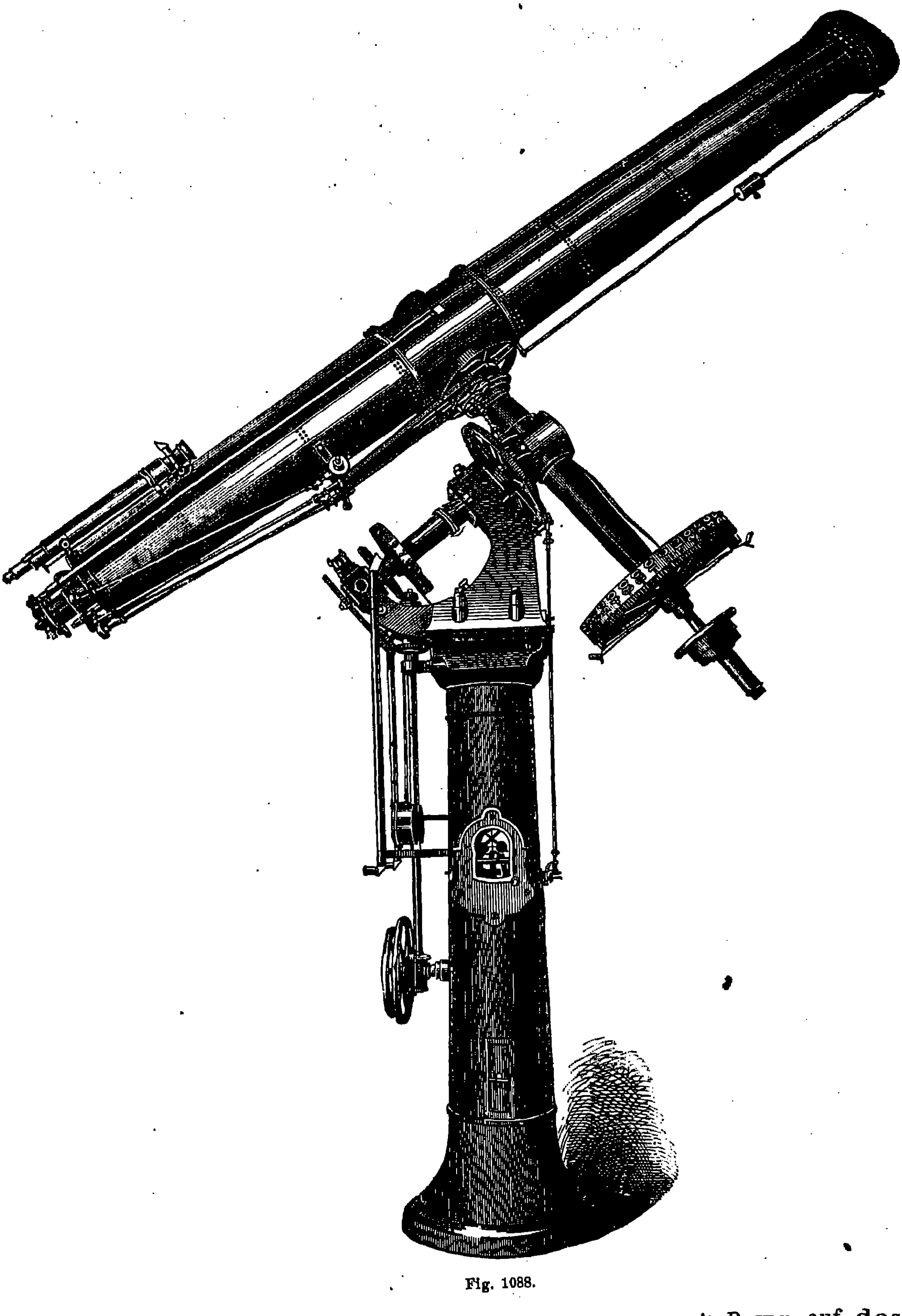


Fig. 1088.

Wenige Worte werden genügen, die Einrichtungen mit Bezug auf das schon früher Beigebrachte zu erläutern. Im Allgemeinen liegt dem Bau der Saegmüller'schen Instrumente das Princip zu Grunde, die feststehenden Theile,

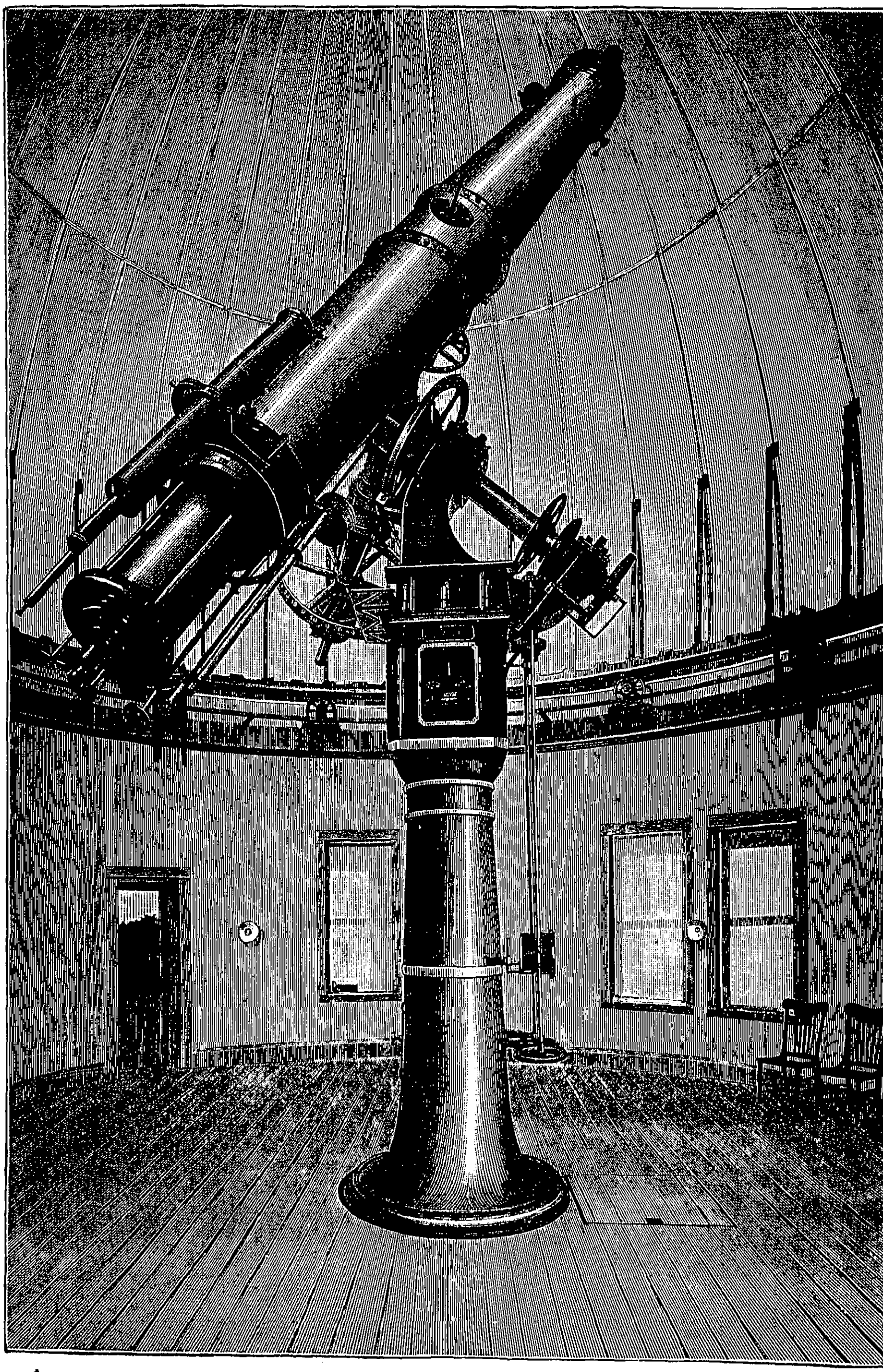


Fig. 1089.

Säule und Lagerbock der Stundenaxe, so schwer zu konstruiren, als es mit dem gefälligen Aussehen vereinbar, dagegen die beweglichen Theile so leicht und einfach zu disponiren, als es die Stabilität derselben irgend zulässt.

Aus diesem Grunde sind auch komplicirte Balancirungen soweit möglich vermieden.[1]) Bei den bisher gebauten Instrumenten (bis zu 20 Zoll) ist von einer Äquilibrirung der Deklinationsaxe bezüglich des Lagerdruckes ganz abgesehen und dieselbe nur zugleich mit dem Fernrohr in Bezug auf die Stundenaxe durch an ihrem freien Ende angebrachte Gegengewichte ins Gleichgewicht gesetzt. Zur Ausgleichung der Massen trägt auch schon der sehr gross und schwer gewählte Theilkreis für rohe Einstellung bei, der auf dem Ende der Axenbüchse gegenüber dem Fernrohr angebracht ist. Da die Deklinationsaxe verhältnissmässig sehr lang gewählt wird, so braucht das eigentliche Gegengewicht nur von kleinen Dimensionen zu sein.

Die Gesammtheit der beweglichen Theile wird unter dem gemeinsamen Schwerpunkt, der dicht oberhalb des oberen Lagers in der Mittellinie der Stundenaxe liegt, durch ein System von wenigen Rollen gestützt, welche die Last des Instruments durch Vermittelung eines zweiarmigen Hebels ähnlich der Grubb'schen Konstruktion tragen. Die Stundenaxe ist derart konisch abgedreht, dass die Rollen gegen eine horizontal liegende Fläche drücken. Der Durchmesser und die Anzahl der Rollen (bei Repsold ist jetzt meist nur eine solche Rolle in Anwendung) richtet sich nach der Grösse des Instruments, und es ist dabei auch dem Umstand Rechnung getragen, dass bei der Anwendung mehrerer Rollen (drei und mehr) diese nicht in demselben Querschnitt der Axe eingreifen können und also auch nicht mit gleichem Drucke anliegen, resp. nicht gleiche Rotationen ausführen können.

Ausser den gewöhnlichen Klemm- und Bewegungseinrichtungen, die sowohl vom Okular aus, als auch durch Handräder an der Säule in Thätigkeit gesetzt werden können, hat Saegmüller an seinen neuen, grossen Instrumenten, wie sie die beigebrachten Figuren zeigen, die von ihm gebauten und oben schon beschriebenen Sucherkreise angebracht, welche die Einstellung eines Gestirnes sehr erleichtern.

G. Instrumente aus französischen Werkstätten.

a. Refraktoren von Sécretan.

In Fig. 1090 bringe ich die Form der Äquatoreale zur Anschauung, wie sie die französischen Mechaniker, namentlich Sécretan, Brunner u. A., anzuwenden pflegen. Die Figur zeigt den grossen Refraktor des Pariser Observatoriums, von 14 Zoll Öffnung, bis 1874 das grösste dioptrische Fernrohr Frankreichs. Er hatte für die Zeit seines Baues (1854) eine grössere Reihe von Verbesserungen aufzuweisen, die namentlich in der bequemen Handhabung der Klemm- und Feinbewegungen und in der Möglichkeit, die Ablesung des Deklinationskreises zum Zwecke der Einstellung vom Okular aus besorgen zu können, beruhten. Für jede Koordinate ist auch neben dem Einstellungskreis mit grober, durch einfache Lupen ablesbarer Theilung ein solcher grösseren Durchmessers mit feiner Theilung vorhanden, der für Winkelmessungen mittelst je zweier Mikroskope abgelesen werden kann. Dieses Instrument, sowie auch

[1]) Es ist bezüglich dieses Punktes das Verfahren des Repsold'schen Institutes offenbar maassgebend gewesen.

die neueren französischen Ursprungs zeichnen sich durch verhältnissmässig lange Axen und einfachen, schlanken Bau aus. Die Lager der Polaraxe sind nicht direkt mit dem Obertheil des Stativs in Verbindung, sondern dieselben sind auf einer starken Eisenplatte aufgeschraubt und diese ist mittelst geeigneter Schrauben gegen die Deckplatte des Gestelles sowohl im Azimuth, als auch in Polhöhe korrigirbar. Die Äquilibrirung findet in der Weise statt, wie sie im Wesentlichen dem Fraunhofer'schen Typus entspricht. Die Stundenaxe wird von einem Rollenpaar unter dem Schwerpunkt

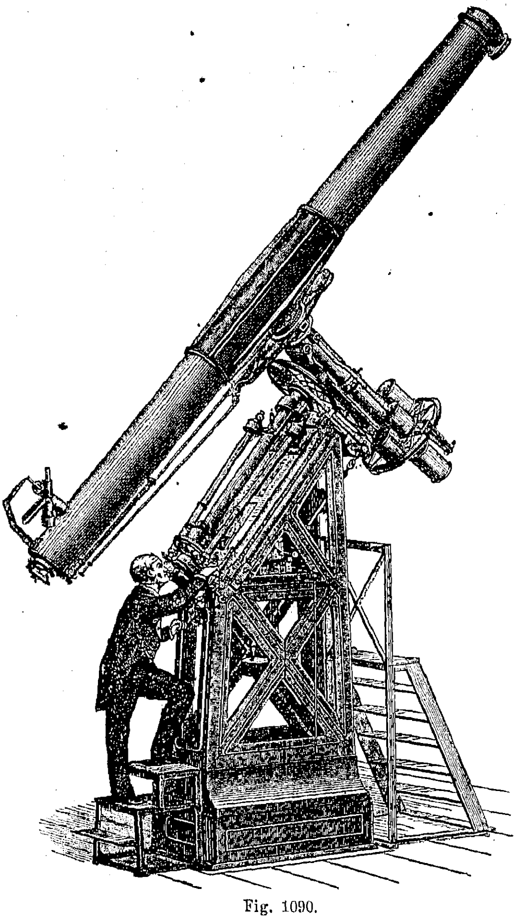


Fig. 1090.

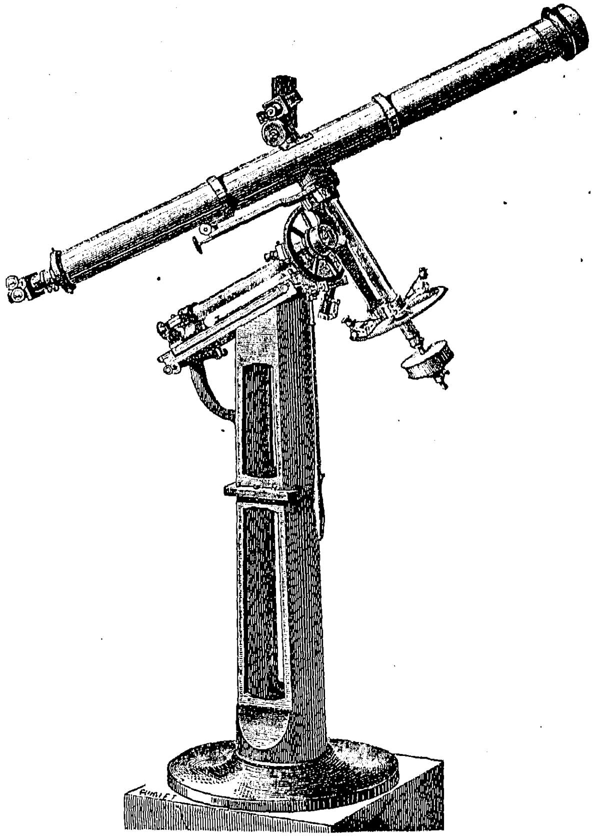


Fig. 1091.

(Nach Konkoly, Anleitung.)

dicht über dem oberen Lager gestützt und die Deklinationsaxe, sowie das damit verbundene Fernrohr werden sowohl wegen des Lagerdruckes, als auch mit Bezug auf die Centrallinie der Stundenaxe balancirt.

Die Fig. 1091 bringt noch ein kleineres Instrument der Sécretan'schen Werkstätte zur Anschauung, sie lässt die Einzelheiten der Montirung recht deutlich erkennen.

b. Refraktoren von Eichens, Brunner u. A.

In neuerer Zeit werden die grösseren Instrumente von Eichens, Brunner oder Gautier gebaut; das grösste derselben dürfte bis jetzt der Refraktor des

Observatoriums zu Nizza sein. Ein kleinerer Refraktor von EICHENS (Bordeaux) sowie der Nizzaer sollen hier noch beschrieben werden. Das erstere Instrument, von welchem ich neben der Gesammtansicht, Fig. 1092, auch einige Konstruktionszeichnungen geben kann, dürfte den Typus der Eichens'schen Konstruktion recht gut veranschaulichen, der in vielen Beziehungen von der Sécretan'schen Anordnung abweicht.[1])

Auf gemauertem Pfeiler erhebt sich die aus mehreren Stücken zusammengesetzte, rechteckige Säule, welche oben durch eine Platte gedeckt wird, auf der der Lagerbock für die Stundenaxe aufgesetzt ist. Die ein-

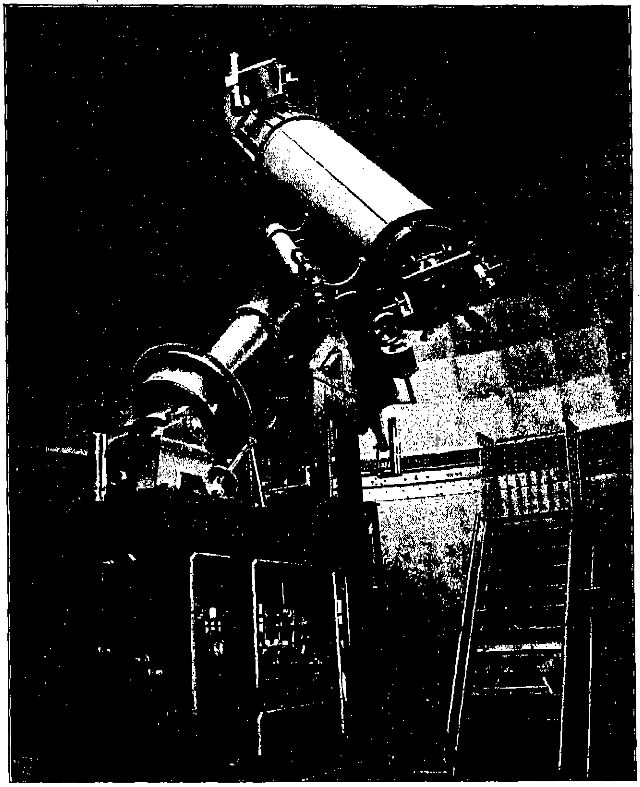


Fig. 1092.

zelnen Theile der Säule lassen kleine, durch entsprechende Schrauben vermittelte Korrektionen im Sinne der Polhöhe und des Azimuthes zu. Die Stundenaxe wird aus zwei mit ihren Grundflächen zusammengeschraubten Konen gebildet, die central durchbohrt sind. Die Gesammtlänge beträgt 2,10 m. Der untere Konus A, Fig. 1093, trägt durch Vermittelung eines warm aufgesprengten Ringes die Platte B, auf der das Zahnrad R befestigt ist. Dasselbe dient zur schnellen Bewegung des Instruments und zur Einstellung, die durch ein Handrad an der Südseite des Pfeilers bewirkt wird und deren Betrag durch ein langes, gebrochenes Mikroskop von da

[1]) Annales de l'observatoire de Bordeaux, Bd. I, S. 48ff.

aus auf einer Theilung auf der Unterfläche des Rades R abgelesen werden kann.

Der Konus A endigt unten in einen sorgfältig abgedrehten Zapfen C, welcher nach Erwärmung des Konus eingesetzt ist; derselbe hat einen Durchmesser von 0,120 m, und ist in den bronzenen Lagertheil D geführt. Der Druck der Axe in Richtung ihrer Mittellinie wird von sechs Rollen G aus Glockenmetall aufgenommen, welche in einem den Zapfen C mit etwas Spielraum umgebenden Ringe äquidistant geführt sind und die einerseits auf einem in die Platte B eingesetzten Ringe und andererseits auf einem ähnlichen Ringe laufen, der in die etwas federnde Platte E eingelassen ist; diese ist wieder auf dem Lagerstück D aufgeschraubt. Ähnlich wie bei Warner & Swasey wird dadurch die gleitende Reibung in eine rollende übertragen, und die Bewegung wesentlich erleichtert. Die Gesammtlast der beweglichen Theile des Instruments wird durch zwei Gegengewichte ausbalancirt, welche durch Vermittelung eines Hebels zwei Rollen gegen die Axe pressen, die wie gewöhnlich oberhalb des oberen Axenlagers unter dem Schwerpunkt der beweglichen Massen angreifen. (Vergl. Fig. 1094 unterhalb J.) Die Mitten der beiden Axenlager sind um 1,820 m von einander entfernt und die Centrallinie der Deklinationsaxe steht von der Mitte des oberen Lagers noch 0,520 m ab.

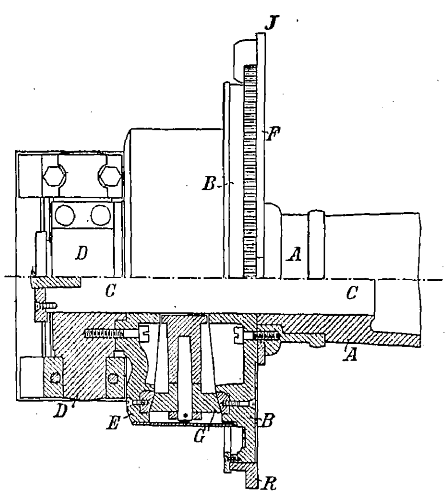


Fig. 1093.

Ausser dem oben erwähnten Stundenkreis, der vom Fusse des Instruments aus ablesbar ist, ist noch ein zweiter solcher vorhanden, der dicht unter der Deklinationsaxe befestigt ist und der durch eine aus Fig. 1094 leicht ersichtliche Anordnung einer Reihe von Prismen vom Okular aus abgelesen werden kann, während die betreffenden Stellen durch eine Lampe am Axenende L erleuchtet werden. Die Übertragung der Uhrbewegung findet nicht durch Eingriff der Schraube ohne Ende in einen ganzen Kreis statt, sondern es ist auch hier nur der Sektor F eines Kreises von grossem Radius als Zwischenstück angebracht, um die Triebkraft an einem möglichst grossen Hebelarm wirken zu lassen.

Die Deklinationsaxe A B, deren Einrichtung und Äquilibrirung aus Fig. 1094 des näheren ersichtlich ist, besteht ebenfalls aus Stahl; sie ist durchbohrt und hat eine Länge von 1,20 m bei 0,120 Durchmesser. Das eine Lager auf der dem Fernrohr zugewandten Seite derselben befindet sich in einer Fläche des die Stundenaxe abschliessenden Kubus und das andere in der kleinen Grundfläche eines an diesen Kubus angesetzten hohlen Kegels bei D′. Die Lager selbst werden durch Futter aus Glockenmetall, die diesen Flächen eingefügt sind, gebildet. Das Fernrohr ist auf einer Kreisplatte mit der Deklinationsaxe verbunden, die eine direkte Fortsetzung dieser Axe ist. Auf der

anderen Seite sind auf einer entsprechenden Fortsetzung derselben die das Fernrohr bezüglich der Stundenaxe balancirenden Gegengewichte in einem gemeinschaftlichen cylindrischen Kasten aufgesetzt.

Der Axendruck der Deklinationsaxe wird durch ein der älteren Repsold'schen Anordnung nicht unähnliches Hebelsystem auf die Stundenaxe übertragen. Bei A, Fig. 1094, umschliesst die Deklinationsaxe ein Rollenring C, der von dem kurzen Ende zweier Hebel gehalten wird; diese finden ihre Stützpunkte auf den Zapfen O, die die Verlängerung eines Durchmessers eines Ringes bilden, welcher seinerseits zwischen zwei Spitzen in der oberen und unteren Fläche des Kubus gehalten wird. Die beiden Hebel treten aus Öffnungen des Konus der Axenbüchse zu beiden Seiten heraus und tragen an den Enden die Gegengewichte P. Auf diese Weise ist, wie sofort einzusehen, die Entlastung des Axenlagers für alle Richtungen der Deklinationsaxe gleichmässig durchgeführt. Die in der Längsrichtung der Axe stattfindende Rei-

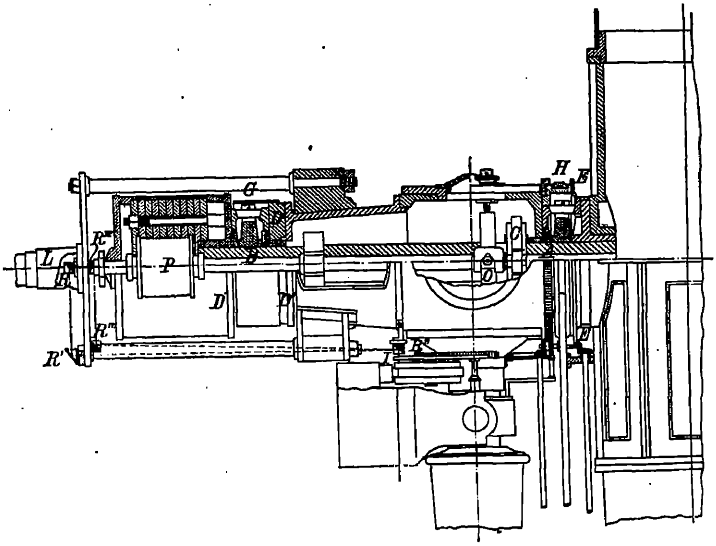


Fig. 1094.

bung wird durch zwei Rollensysteme ähnlich den bei der Stundenaxe beschriebenen von gleitender Reibung in rollende übergeführt. Von diesen Rollenkränzen befinden sich, wie die Figur leicht erkennen lässt, der eine bei G zwischen den Laufringen bei D und D' und der andere H zwischen eben solchen Ringen auf der dem Fernrohr zugewendeten Kubusseite und auf der das Fernrohr tragenden Scheibe. Der Deklinationskreis EE ist auf einer niedrigen Trommel befestigt, die mit der eben erwähnten Kubusseite fest verbunden ist; der umgebende Cylinder dient gleichzeitig als Schutz für den Rollenkranz bei H und zur Führung für die Deklinationsklemme. Der von 5 zu 5 Minuten auf Silber getheilte Limbus wird durch ein langes Mikroskop vom Okularende aus abgelesen; die Beleuchtung der Ablesestellen wird ebenfalls von einer Lampe bei L aus durch Reflexion des Lichtes in einer Reihe von Prismen bewirkt.

Das Fernrohr besteht aus dem cylindrischen Mitteltheile von 1,400 m

Länge und 0,580 m Durchmesser und den beiden Konen aus Stahlblech von 3 mm Dicke. Das Objektivtheil ist 2,730 m, das Okulartheil aber nur 2,47 m lang; an seinem Ende ist es durch einen Ring aus Bronze geschlossen, welcher den Okularstutzen, den Positionskreis und die Arme für die verschiedenen Handhaben trägt. Das Objektiv von 0,379 m freier Öffnung und einer Brennweite von 6,820 m ist von MERZ im Jahre 1880 hergestellt; seine Fassung ist derart eingerichtet, dass auch bei starken Temperaturschwankungen keine Spannungen in den Linsen eintreten können. Zu diesem Zwecke ist die Flintglaslinse nur auf drei Vorsprüngen gelagert und ebenso wird die Crownglaslinse durch einen Ring mit drei korrespondirenden Vorsprüngen niedergedrückt, der mittelst dreier radialer Schrauben mit der eigentlichen Fassung verbunden ist; diese liegen immer genau zwischen den erwähnten Vorsprüngen, sodass ein ganz gleichmässiger, etwas federnder Druck hervorgebracht werden kann. Die beiden Linsen haben einen etwas kleineren Durchmesser als die Fassung und werden seitlich darin durch zwei Vorsprünge und eine sie dagegen andrückende Feder gehalten.[1])

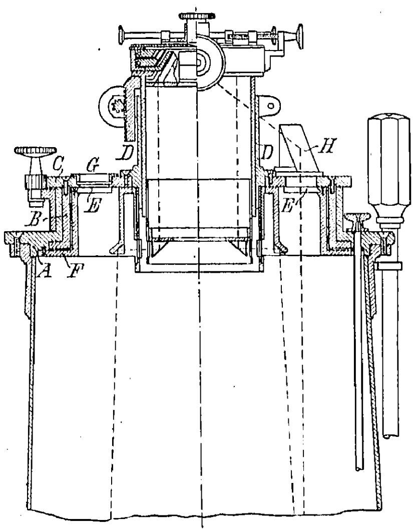


Fig. 1094 a.

Die Definition sowohl als die chromatische Korrektion des Objektivs ist sehr gut, sodass noch leicht Doppelsterne von 0″.35 getrennt werden können. Das Fernrohr ist mit zwei Suchern von je 0,095 m und 0,018 m Öffnung versehen. Die Einrichtung des Okulars geht aus Fig. 1094 a mit genügender Deutlichkeit hervor; es mag nur dazu bemerkt werden, dass an dem Abschlussringe A des Fernrohrs das Kniestück F angeschraubt ist und dieses wiederum den auf Glas getheilten Positionskreis E trägt. Zwischen A und F läuft ein Ring B von L-förmigem Querschnitt, der mit der Zahnscheibe C in Verbindung steht. Diese wird durch ein Trieb gedreht und führt bei dieser Drehung das eigentliche Okularrohr meist mit dem dazu gehörigen Mikrometer u. s. w. mit sich. Die Ringplatte C ist an zwei Stellen E, E durchbrochen; die eine der Öffnungen wird durch eine Vernierscheibe G gedeckt, mittelst der durch eine Lupe die Theilung des Positionskreises abgelesen werden kann, und durch die andere Öffnung kann Licht nach Reflexion in zwei entsprechenden Prismen H auf die Mikrometertrommeln fallen. Ein Theil des von der Lampe bei L, Fig. 1094, kommenden Lichtes dient auch in der durch die punktirte Linie angedeuteten Weise zur Erleuchtung des Gesichtsfeldes, der Fäden und erhellt ausserdem auch die Ablesestelle des gläsernen Positionskreises.[2])

[1]) Vergl. das oben über die Fassung der grösseren Objektive Angegebene.

[2]) Die Einrichtung des Mikrometers und die sinnreiche Beleuchtung der einzelnen

Ein Refraktor von etwas kleineren Dimensionen und recht einfacher, aber doch zweckmässiger Anordnung wurde von derselben Werkstätte für das Observatorium in Besançon ausgeführt, er zeichnet sich namentlich durch einfachen Axenbau aus.

Von dem grossen Instrument des Observatoriums zu Nizza sei hier nur noch eine kurze Beschreibung gegeben, die sich mehr auf das äussere Aussehen desselben beschränken soll, da detaillirte Zeichnungen mir leider bis zum Abschlusse dieses Werkes nicht zugänglich geworden sind.[1])

Auf dem schweren gemauerten Pfeiler erheben sich von der Bodenfläche des Beobachtungsraumes aus zwei gesonderte, aus Granitblöcken aufgemauerte, viereckige Säulen, die an ihren oberen Enden wieder durch eine sehr starke Eisenplatte mit einander verbunden sind. Auf dieser ruht der Lagerbock für die Stundenaxe; derselbe besteht aus einer Platte gleich der früher erwähnten und trägt zwei gesonderte Aufbaue, einen niedrigen im Süden und einen hohen für das nördliche Lager der Stundenaxe. Die Stundenaxe ist 4,00 m lang und hat am Südende einen Durchmesser von 22 cm, der sich nach Norden zu in geringem Maasse vergrössert. Sie ist, wie bei dem schon beschriebenen Instrumente, in zwei Theilen gegossen, und diese sind an breiter Flantsch mit einander verschraubt.[2]) Der Stundenkreis hat 1,25 m Durchmesser und ist auf seiner Südfläche auf einem Limbus von Platina getheilt. Eine an der Südseite des Pfeilers befestigte Lampe erleuchtet diesen Kreis an zwei Stellen. Für die übrige Beleuchtung ist in der Nähe des Okulars eine zweite Lampe angebracht, von welcher durch geeignete Reflexion das Licht nach dem Deklinations- und Positionskreis gelangt, zur Feld- und Fadenbeleuchtung und zur Belichtung der Mikrometertrommeln. Die Bewegungen können in der mehrfach beschriebenen Weise in Thätigkeit gesetzt und gehemmt werden, sowohl vom Okularende, als auch von der Südseite des Pfeilers aus. Die Deklinationsaxe hat der Stundenaxe entsprechende Dimensionen und nimmt an einer breiten Scheibe das aus sieben einzelnen Theilen bestehende Rohr auf. Die beiden Linsen des Objektivs von 0,75 m Öffnung und einer Gesammtbrennweite von ca. 18 m von Gebrüder Henry sind dicht auf einander gelagert und nur durch drei dünne Blättchen in der üblichen Weise getrennt. Dicht hinter dem Objektiv ist im Rohre eine Öffnung angebracht zur Ventilation und zur Reinigung der Rückfläche des Objektivs. Das Fernrohr ist mit zwei Suchern von je 28 mm und 150 mm Öffnung versehen.

Das Triebwerk ist ein Uhrwerk mit Foucault'schem Regulator, wie er früher vielfach auch in Deutschland angewandt wurde und gegenwärtig bei den französischen Instrumenten noch in Gebrauch ist. Obgleich er grosse Genauigkeit gewährt, ist seine Einrichtung doch immerhin etwas komplicirt, wie Fig. 1095, die ein solches Uhrwerk darstellt, erkennen lässt.

Theile ist nach Angabe von Gautier hergestellt, während die Disposition für die Montirung selbst noch von Eichens angegeben wurde.

[1]) Vergl. Winterhalter l. c., S. 75 ff.

[2]) Auch der in Nizza aufgestellte 38 cm-Refraktor ist fast ganz ebenso gebaut, wie der des Observatoriums zu Bordeaux.

Eine sehr gute Beschreibung eines solchen Regulators findet sich im II. Bande der Bothkamper Beobachtungen von H. C. Vogel, der ich zur Vervollständigung die noch folgenden Details entnehme,[1] da das dort beschriebene gesammte Triebwerk ebenfalls aus der Werkstätte von Eichens hervorgegangen ist. (Bothkamp, Beobachtungen, Bd. II, S. 2 ff.)

Das Uhrwerk ist zum Theil eingeschlossen in einen Glaskasten von 22,5 cm Breite, 37,5 cm Höhe und 29 cm Tiefe. Es ist dieser Kasten auf einer Eisenplatte befestigt, die an dem säulenartigen Fusse des Instrumentes angebracht ist. Die eine Seite des Glaskastens ist durchbohrt, um einer Axe den Austritt zu gestatten. Das an dem Ende dieser Axe befindliche Zahnrad greift in die grösseren Übertragungsräder ein, deren Lager an der Rückwand des Kastens und an der Fussplatte angebracht sind.

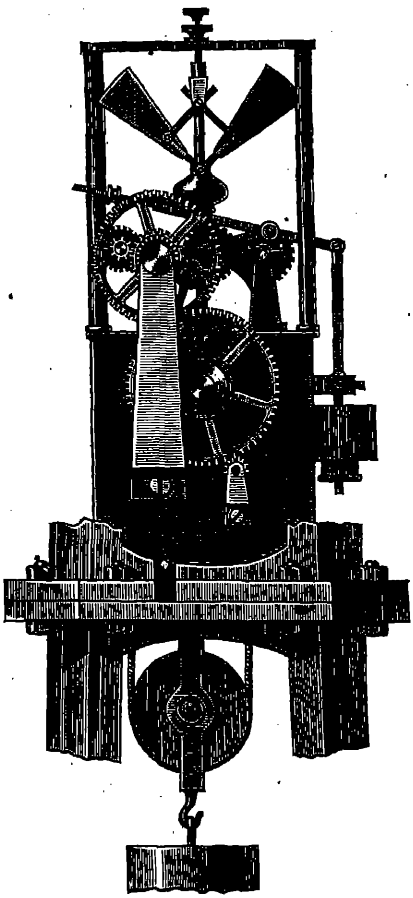


Fig. 1095.

Aus der beistehenden schematischen Darstellung, Fig. 1096, ist der Eingriff der Räder des Uhrwerks ersichtlich. Die Axen 1, 2 und 3 liegen horizontal, 4, 5 und 6 dagegen vertikal. Das Walzenrad A hat einen Durchmesser von 13,5 cm und 150 Zähne, durch die Walze B wird das Gewichtseil von 0,4 cm Stärke aufgewunden. Das Walzenrad trägt noch das Gesperr

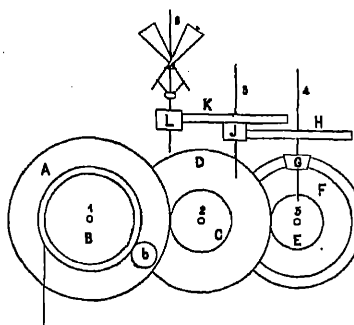


Fig. 1096.

und die Hülfsfeder, die Walze B noch ein Rad, in welches der Trieb b eingreift, auf dessen Axe der Schlüssel zum Aufwinden des Gewichtes gesteckt wird. A greift in ein Getriebe C von 25 Zähnen ein, das an diesem befestigte Rad D (11,3 cm Durchmesser) von 165 Zähnen in das Getriebe E von 26 Zähnen, das an diesem befestigte konische Rad F (9,7 cm Durchmesser) von 200 Zähnen in das mit der vertikalen Axe 5 verbundene Getriebe G von 50 Zähnen. Am Ende der Axe 3 ist ein Trieb von 25 Zähnen aufgesetzt, durch welchen

[1]) Vergl. dazu auch die ausführliche Beschreibung solcher Regulatoren in Carl, Repert. d. Exp.-Physik, Bd. II, S. 289 ff.

die Bewegung auf die aussen befindlichen Räder und so schliesslich auf den an der Rektascensionsaxe befestigten Zahnkranz übertragen wird. Mit dem Getriebe G steht das Rad H (6,75 cm Durchmesser) von 170 Zähnen in Verbindung, dieses greift in den Trieb J von 34 Zähnen und das mit diesem verbundene Rad K (6,21 cm Durchmesser) von 234 Zähnen endlich in den an der Axe des Regulators befindlichen Trieb von 65 Zähnen ein. Infolgedessen macht die Axe des Getriebes L 2592 Umläufe, während das Walzenrad A einen Umlauf vollendet hat. Ist das Uhrwerk nach Sternzeit regulirt, so macht A einen Umlauf in 5 Minuten 47,5 Sekunden, demnach L in 0,134 Sekunden, d. s. etwa 7,5 Umläufe in einer Sekunde.

Die Regulirung des Uhrwerks beruht auf einer Untersuchung FOUCAULT'S[1]), durch welche nachgewiesen wird, dass man die Umdrehungen eines gewöhnlichen Watt'schen Regulators für jede Öffnung des Winkels, den die beiden Arme des Regulators bilden, dadurch isochron machen kann, dass man einen Druck gegen die beweglichen Theile des Regulators ausübt,

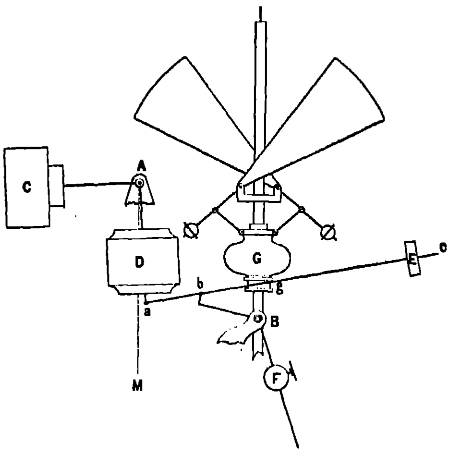


Fig. 1097.

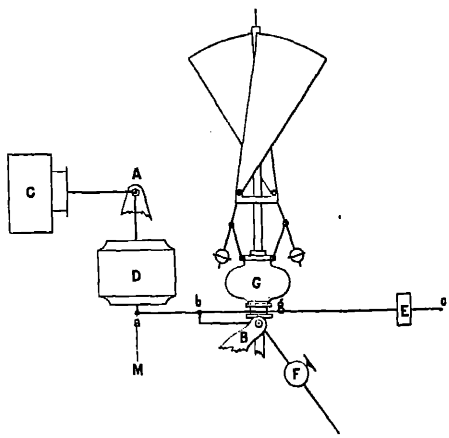


Fig. 1098.

der proportional mit der Erhebung des Gewichtes G (Fig. 1097) durch weitere Ausbreitung der damit verbundenen Arme, wächst. Die Kraft, die diesen Druck hervorbringt, ist so bemessen, dass in der Stellung des Regulators, in der die Charnirpunkte der Gliederungen in einer Vertikalen liegen, ihre Wirkung Null ist, während sie dann, wenn die Charnirpunkte in einer Horizontalen liegen, einen den beweglichen Massen des Regulators das Gleichgewicht haltenden Druck hervorbringt. In der Praxis lassen die beiden eben gedachten extremsten Fälle keine Ausführung zu, immerhin kann man aber für die Zwischenlagen dieses Princip zur Anwendung bringen und die Umdrehungen des Regulators dadurch sehr nahe isochron machen.

EICHENS hat dasselbe in der aus den Fig. 1097 und 1098 ersichtlichen Weise zur Ausführung gebracht; Fig. 1097 zeigt die Stellung des Regulators und des darauf wirkenden Hebelsystems, wenn das Uhrwerk in Bewegung ist, Fig. 1098 dagegen, wenn sich dasselbe in Ruhe befindet.

[1]) Comptes rendus, Bd. 55, S. 135.

A und B sind zwei feste Drehpunkte, C und D Bleigewichte, welche an zwei Armen, die rechtwinklig gegen einander stehen, befestigt sind. Aus der

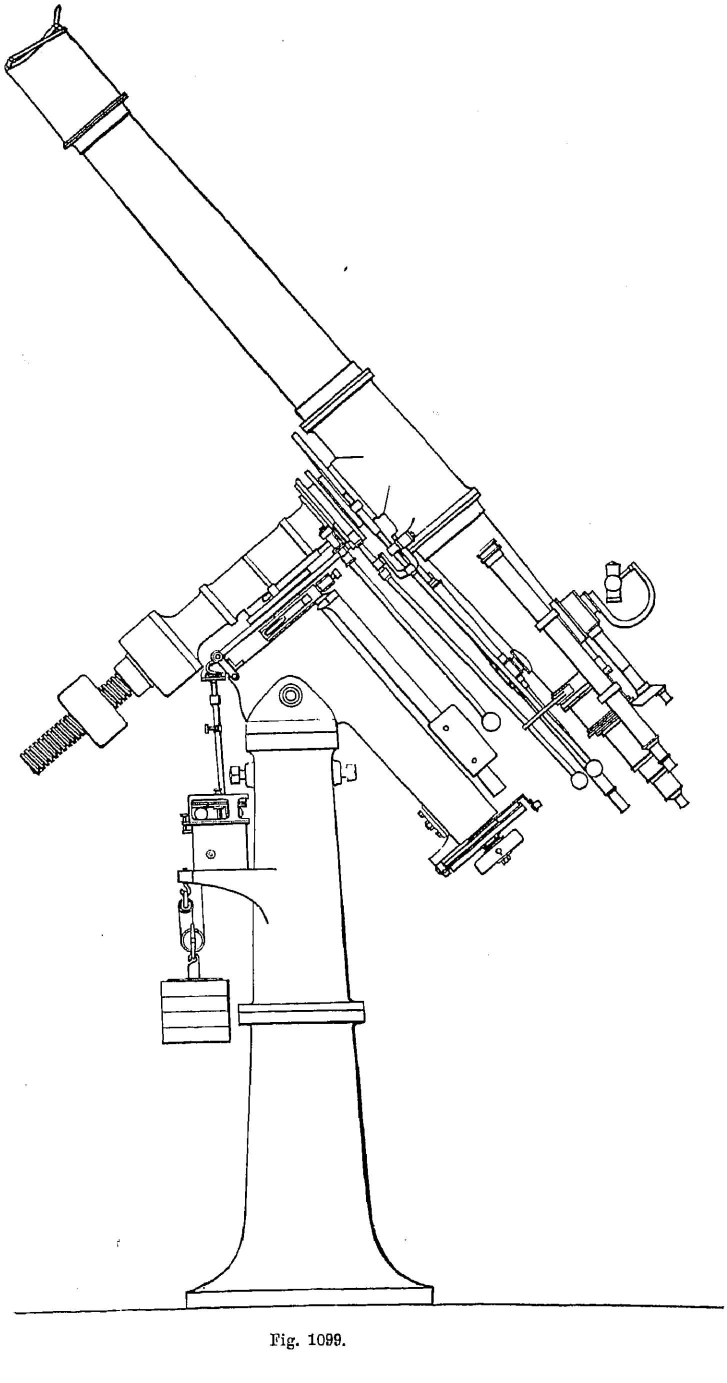


Fig. 1099.

Stellung beider Gewichte gegen die Richtung der Schwere AM ist ersichtlich, dass dieselben in der Ruhelage einen Druck in der Richtung ac ausüben werden, der aber durch die Steifheit der Hebel aufgehoben wird. So-

wie jedoch durch die Drehung der Axe die Flügel weiter auseinander gehen und damit das Gewicht G mit der daran befindlichen Muffe g gehoben wird, wird sich die durch die Gewichte C und D hervorgebrachte Kraft durch das Hebelsystem AabB bei g — wo die Stange ac mit dem Gewicht G in Eingriff steht — äussern, und zwar wird die zur Wirkung kommende vertikal aufwärts gerichtete Komponente das Bestreben haben, den Druck des Gewichts G zu vermindern. Innerhalb der hier vorkommenden Grenzen wird diese Komponente wachsen, je höher das Gewicht G durch weitere Ausbreitung der Flügel gehoben wird.

Zur feineren Justirung dient das Gewicht E, welches sich auf einer Schraube vor- und rückwärts bewegen lässt; ein Verschieben nach c hin bedingt einen schnelleren Gang des Uhrwerks. F ist ein Laufgewicht, durch dessen Verstellung auf einem getheilten Stabe man das Uhrwerk nach Sternzeit oder nach mittlerer Zeit gehen lassen kann. Derartige Veränderungen im Gange der Uhr lassen sich auch während des Ganges leicht bewirken. Die Schwere der einzelnen Gewichte beträgt für das Bothkamper-Fernrohr: (Fig. 1039) C = 620 g; D = 650 g; G = 230 g; E = 25 g bei einem Triebgewicht von nahe 50 kg.

c. Italienische Refraktoren.

Ein Refraktor in parallaktischer Montirung nach der Anordnung, welche die mechanische Werkstätte von A. Salmoiraghj ihren derartigen Instrumenten zu geben pflegt, stellt die Fig. 1099 dar. In mancher Hinsicht ähnelt die Form der von Cooke gewählten. Die einzelnen Theile sind nach den vielfachen Beschreibungen aus der Figur leicht zu übersehen. Es mag hier nur auf die Einrichtungen zur Korrektion für verschiedene Polhöhen und auf diejenige für die Ablesung des Positionskreises, sowie der Beleuchtungslampe hingewiesen werden. Die erstere wird dadurch bewirkt, dass die Büchse für die Stundenaxe in einem gabelförmigen Säulenobertheil liegt, in dem sie um einen starken, horizontalen Bolzen als Axe drehbar ist; sie setzt sich im Inneren der Säule in einem starken Bügel fort, der zwischen zwei die Säule durchsetzenden Schrauben festgehalten wird. Für Äquilibrirung ist nur durch einen Hebel mit Rollenbügel unter dem Gesammtschwerpunkt der beweglichen Theile gesorgt, während im Übrigen der Axendruck wirksam bleibt. Für grössere Instrumente mit stark belastetem Triebwerk dürfte die Verlegung des Zuggewichtes wohl erforderlich werden.

Zwanzigstes Kapitel.

Aufstellung von Reflektoren und Fernrohren besonderer Konstruktion. Kometensucher.

1. Reflektoren.

a. Allgemeines und ältere, kleinere Instrumente.

Die Art der Massenvertheilung bei den Reflektoren sowohl, als auch die Lage des Okulars, namentlich bei grösseren Instrumenten, welche die Newton'sche oder Herschel'sche Anordnung der katoptrischen Fernrohre besitzen, bedingt vielfach eine andere Ausführung der Montirung, als man sie bei den Refraktoren anzuwenden pflegt. Die Schwere der zu bewegenden Massen lässt es bei den grössten Reflektoren überhaupt unangebracht erscheinen, dieselben weder mit vollständiger parallaktischer noch azimuthaler Montirung zu versehen; während den kleineren Instrumenten dieser Art, welche besonders in England gebaut werden, meist eine parallaktische Montirung gegeben wird, auch wenn die optischen Theile nicht nach dem Gregory'schen oder Cassegrain'schen Princip angeordnet sind. Da in dem Kapitel über das Fernrohr die optischen Theile der Reflektoren schon eingehend besprochen sind, soll hier im Wesentlichen nur noch die Aufstellung derselben an einigen typischen Beispielen erläutert werden.

Die Aufstellungen, welche Gregory und Newton selbst ihren Instrumenten gaben, mögen hier kurz durch zwei kleine Reflektoren illustrirt werden, Fig. 1100 u. 1100a, wie solche zu Ende des vorigen Jahrhunderts von Short und Anderen gebaut wurden und wie man deren heute noch mit Spiegeln von 3—6 Zoll Durchmesser vielfach in den Sammlungen mathematischer und astronomischer Instrumente vorfindet. Sie sind in den meisten Fällen in Form der Gregory'schen Instrumente eingerichtet und haben in Folge dessen von aussen ganz das Aussehen eines gewöhnlichen dioptrischen Fernrohres. Das Okularrohr ist gewöhnlich nur wenig verschiebbar, nur so viel, als es nöthig ist, um ein etwa in der Bildebene angebrachtes Fadennetz für jedes Auge scharf einzustellen. Die Fokusirung auf das Objekt wird durch Verschiebung des kleinen Spiegels hervorgebracht, der auf einem besonderen Schlitten montirt ist, dem durch eine längs des Rohres laufende Stange mit Schraube die richtige Stellung gegeben werden kann (vergl. S. 373).

Abgesehen von ganz einfachen Aufstellungen für Bewegung mit der freien Hand sind auch häufig an diesen kleinen Instrumenten Gradbögen und besondere Scheiben mit gekerbtem Rande zu feinerer Bewegung im Azi-

muth und Höhe angebracht, in die dann Schrauben ohne Ende eingeschoben werden können.

Auch parallaktisch montirte, kleinere Reflektoren wurden früher schon gebaut, wie auf S. 1079 erwähnt ist.

Zu grossem Ansehen gelangten bekanntlich die Reflektoren namentlich durch W. HERSCHEL, der während seiner astronomischen Thätigkeit eine ausserordentlich grosse Anzahl von Spiegeln herstellte und auch die Montirung derselben meist selbst besorgte. Wie ebenfalls früher schon ausgesprochen, gab er seinen Reflektoren bis zu etwa 1—2 Fuss Öffnung die Newton'sche Konstruktion, während er bei den grösseren Instrumenten die nach ihm benannte Einrichtung anwandte, d. h. er betrachtete das Bild, welches der Hauptspiegel erzeugte, ohne weitere Reflexion, direkt mittelst eines entsprechenden Okularsatzes. Ein Instrument der ersteren Gattung ist oben in Fig. 393 abgebildet. Es

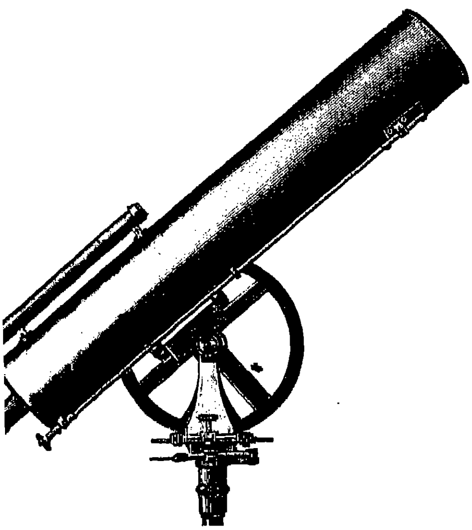


Fig. 1100.

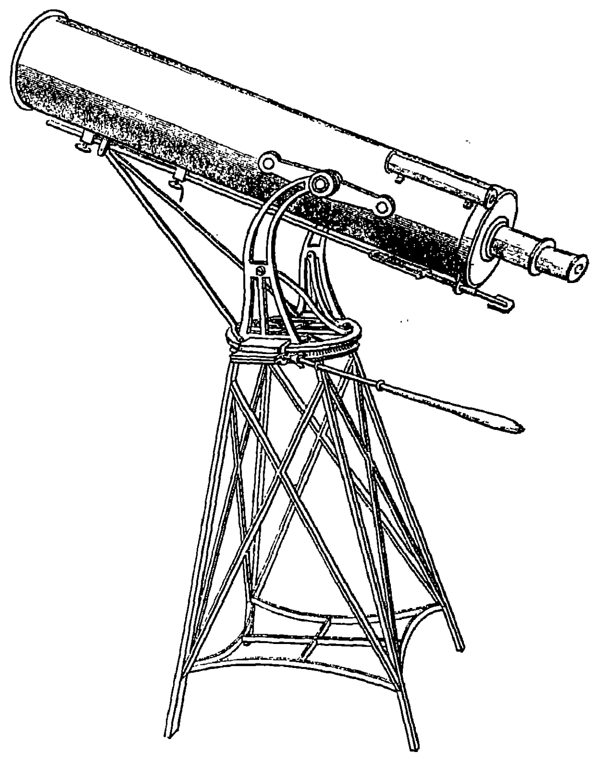


Fig. 1100 a.

ist im Wesentlichen azimuthal aufgestellt, und das Fernrohr kann durch Schnurläufe und windenähnliche Einrichtungen in Höhe eingestellt werden, indem sowohl das Spiegelende als auch das offene Ende des Rohres für sich gehoben und gesenkt werden kann. Eine seitliche Bewegung ist nur in beschränktem Maasse mittelst einer horizontal gelagerten Schraube ausführbar, während grössere Richtungsveränderungen nur durch Verschiebung des ganzen, im Allgemeinen leicht gebauten Gestelles vorgenommen werden können. Die Benutzung von Kreisen zur Einstellung ist bei diesen Montirungen fast ganz ausgeschlossen, da keine Möglichkeit für deren Orientirung gegeben werden kann. Aus diesem Grunde ist es bei solchen Instrumenten noch viel mehr Bedürfniss als bei Refraktoren, dass dieselben mit geeigneten Suchern ver-

sehen sind, zumal bei der Herschel'schen und Newton'schen Konstruktion die Sehrichtung für den Beobachter nicht nach dem Gestirn gerichtet ist, sondern entgegengesetzt oder senkrecht dazu. Neben der gewöhnlichen Anordnung eines Sucherfernrohres, welches neben dem Hauptfernrohr entlang läuft und mit diesem durch entsprechende Träger so verbunden ist, dass die optischen Axen beider parallel gemacht werden können, hat vor einigen Jahren Dr. H. Schröder eine Einrichtung angegeben, welche für Reflektoren und in etwas modificirter Weise auch für Refraktoren gebraucht werden kann. Dabei ist der Werth nicht auf die Visurrichtung gelegt, sondern darauf, dass mit dem Hauptfernrohr in sehr bequemer Weise ein solches von grösserem Gesichtsfelde in Verbindung gebracht wird.

In Fig. 1101 ist die Anordnung für einen Reflektor Newton'scher Konstruktion skizzirt. Es ist a der Objektivspiegel, b das Reflexionsprisma (resp. ein Planspiegel unter 45° Neigung) und in c das Reflektorokular. Das Hauptrohr ist bei d durchbohrt, und in der Öffnung ist das Sucherobjektiv angebracht; vor diesem befindet sich ein rechtwinkliges Reflexionsprisma e so justirt, dass die optische Axe des Hauptspiegels mit dem durch e um 90° abgelenkten Centralstrahle des Suchers parallel wird. In f befindet sich sodann in geeigneter Entfernung vom Okulare c dasjenige des Suchers, sodass der Beobachter entweder mit dem anderen Auge, wenn nöthig sofort in den Sucher sehen kann, oder diesen wenigstens dicht neben dem Hauptokular hat. In Fig. 1102 ist die Einrichtung für einen Refraktor angedeutet. Es ist a das Objektiv und b das Okular des Hauptinstruments, während ebenfalls seitlich zum Theil in und vor einer Durchbohrung des Rohres ein Objektiv kurzer Brennweite und ein davor befindliches Reflexionsprisma angebracht ist. Durch den unter 45° zur optischen Axe des Fernrohres geneigten Planspiegel e werden, wenn sich derselbe in der in der Figur gezeichneten Stellung befindet, die durch das Sucherobjektiv eintretenden Strahlen in das gemeinschaftliche Okular b reflektirt. Wird der Spiegel e zur Seite gedreht, so hat der Strahlenkegel des Hauptobjektivs freien Durchgang. Der Beobachter kann also bei Benutzung desselben Okulars und Fadennetzes unmittelbar nach einander ein grosses Gesichtsfeld bei schwacher Vergrösserung und ein kleines Gesichtsfeld bei starker Vergrösserung mit demselben Okular erzielen. Wie weit sich diese Einrichtung bewährt, ist mir bisher nicht bekannt geworden.

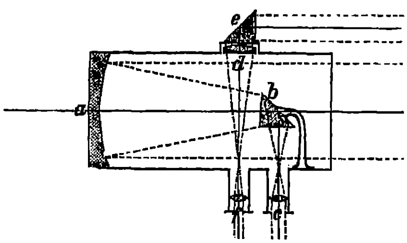


Fig. 1101.

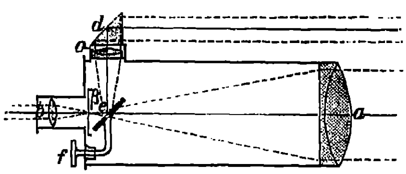


Fig. 1102.

b. Die Herschel'schen Instrumente.

Nach dieser Abschweifung wieder auf die Herschel'schen Teleskope zurückkommend, ist zu bemerken, dass die Instrumente, mit denen W. Herschel

seine hauptsächlichsten Entdeckungen und Beobachtungen ausführte, Öffnungen von 2—3 Fuss hatten und im Allgemeinen entweder nach der in Fig. 393

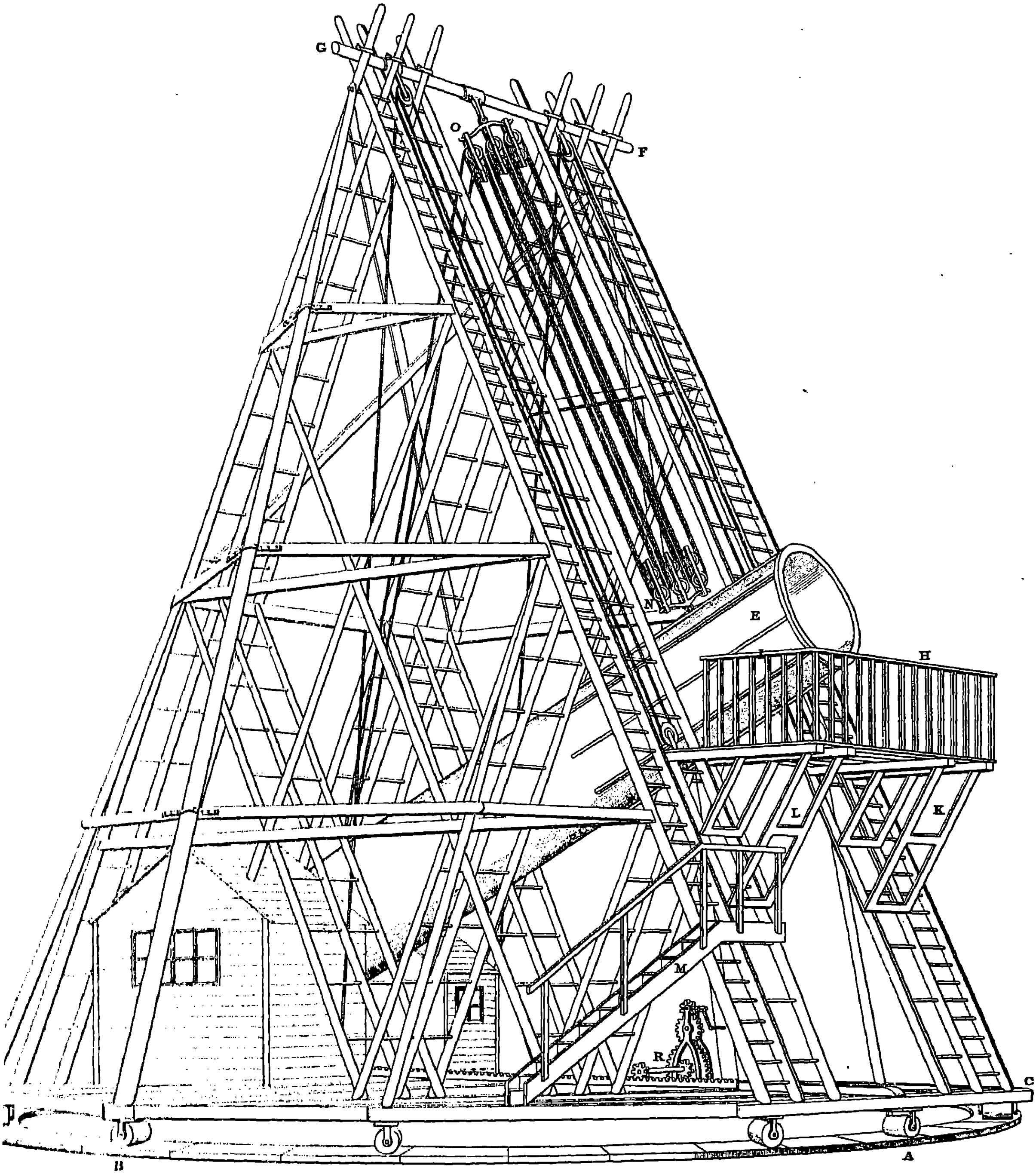


Fig. 1103.

dargestellten Methode oder ähnlich montirt waren, wie sie das in Fig. 1103 dargestellte und schon vielfach abgebildete und beschriebene Riesenteleskop

von 40 Fuss Brennweite und 4 Fuss Öffnung besass. Das Instrument, welches später J. Herschel zu Feldhausen am Kap der Guten Hoffnung zu seinen Beobachtungen des Südhimmels benutzte, hatte eine Öffnung von 18 Zoll bei 20 Fuss Brennweite und war ganz analog dem in Fig. 1103 dargestellten eingerichtet. Eine Beschreibung dieser Form der Montirungen kann hier füglich sehr kurz gehalten werden.

In einem hölzernen Rohre von acht- oder mehrkantiger Form, dessen eines Ende zwischen einem Gerüste emporgezogen werden kann, ist am anderen Ende der Spiegel eingesetzt. Dieses Ende ruht in einem Rahmen, welcher mittelst Rollen auf einer Bahn hin und her bewegt werden kann. Auf diese Weise und mittelst Flaschenzügen nahe dem oberen Ende kann dem Instrument jede beliebige Elevation gegeben werden. Die azimuthale Bewegung erfolgt dadurch, dass das ganze Gerüste auf einer Ringplatte ruht, die sich auf einer entsprechenden Anzahl von Rollen um ihr Centrum drehen lässt. Diese Ringplatte trägt neben dem Teleskop und seinem Gerüste noch zwei Arbeitsräume, sowie überhaupt alles, was bei der Beobachtung mit einem so ungefügen Instrumente erforderlich ist. An dem Gestänge lässt

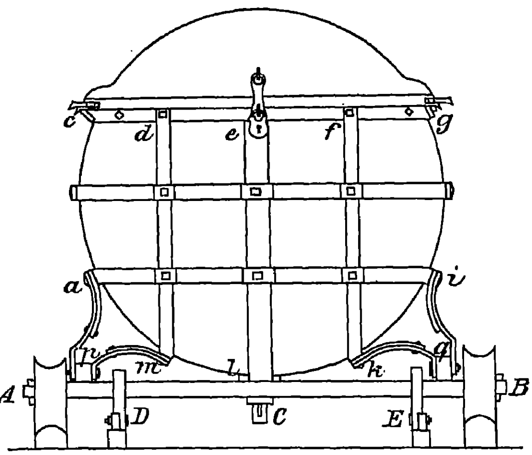


Fig. 1104.

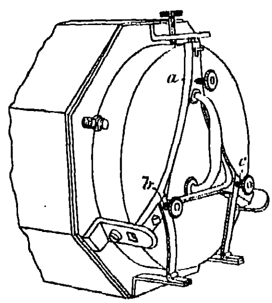


Fig. 1105.

sich mit dem Teleskop zugleich auch der Balkon für den Beobachter auf und ab bewegen, sodass dieser immer in bequemer Stellung in das Teleskop (Herschel'scher Typus) hinein sehen kann. Zum Zwecke der Anweisung der zur Einstellung des Instruments nöthigen Gehülfen, lief an dem Teleskop ein Sprachrohr herab nach dem Wach- resp. Arbeitsraum. Ohne weiter auf diese Instrumente einzugehen, will ich in Fig. 1104 nur noch die Fassung des Spiegels, wie sie Herschel anwandte, darstellen. Aus dieser Figur ist sowohl deren Form, als auch die Art der Bewegung ersichtlich.[1]) Von unten werden diese grossen Spiegel durch ein ganzes Rahmenwerk a, g, d, f gehalten, in dem sich auch die nöthigen Schrauben zur Regulirung ihrer Lage befinden, wie es die Fig. 1105 besser erkennen lässt.

[1]) Wegen specieller Einrichtungen ist hier auf die Beschreibung der 40füssigen Teleskope in den Philos. Transact. von 1795, Theil II, sowie auf diejenigen J. Herschel's in den Results of astron. observ. made at the Cape of Good Hope, Ldn. 1847 zu verweisen. Die erstere Abhandlung ist auch in deutscher Übersetzung von J. G. Geissler erschienen (Leipzig 1799).

Bei den kleineren Herschel'schen Teleskopen wird der in einer eisernen Fassung befindliche Spiegel durch ein dreiarmiges Eisenstück von der in Fig. 1105 skizzirten Form gehalten. Die drei spitzen Ecken sind mit Riegeln versehen, die nach Einlegung des Spiegels in drei Ösen eingeschoben werden können, welche an einem mit dem Rohre verbundenen Ringe in gleichem Abstande angebracht sind. Das eiserne Dreieck wird an den Punkten a, b und c von Schrauben durchsetzt, die durch drei Löcher in der Rückwand der Spiegelfassung hindurch gehen und auf 3 Blattfedern drücken, die sich gegen den Spiegel anlegen. Die Regulirung der Spiegellage geschieht mittelst Zug- und Druckschrauben, die den die Ösen tragenden Ring mit dem eigentlichen Holzrohre verbinden.[1])

c) Die Lassell'sche Montirung der Spiegelteleskope.

Herschel hat seine Reflektoren verschiedener Grösse so aufgestellt, dass ihnen im Wesentlichen eine Bewegung nach Höhe und Azimuth gegeben werden konnte. Von dieser Anordnung ist Lassel nicht nur bei seinem grossen, 4füssigen Reflektor, der in Fig. 1106 dargestellt ist, abgewichen, sondern er hatte auch schon vorher zwei kleineren Instrumenten dieser Art in Starfield und Maidenhead eine ähnliche Aufstellung gegeben. Das hier abgebildete Instrument ist das bekannte, mit welchem Lassell in den 60er Jahren auf Malta eine Reihe wichtiger Entdeckungen (Uranus- und Saturn-Monde etc.) gelang. Leider ist dasselbe nicht mehr erhalten, da sein Verfertiger es kurz vor seinem Tode, nachdem es nach England gebracht war, zerstörte. Die Montirung ist, wie die Figur sofort erkennen lässt, äquatoreal eingerichtet. Der Verfertiger beschreibt das Instrument selbst in einem kurzen Berichte wie folgt:[2]) „Das Teleskop ist ein Newton'scher Reflektor mit parallaktischer Aufstellung; es ist nach demselben Principe montirt, wie das 9füssige und 20füssige Teleskop, welche in den Memoirs of the Roy. Astron. Soc. beschrieben sind.[3]) Die Öffnung war genau 4 Fuss (engl.), und es gehörten dazu zwei grosse Spiegel, deren Brennweite beziehungsweise 441,8 448,1 Zoll betrug. Diese Spiegel waren gegen $4^1/_2$ Zoll dick und wogen 2700 Pfd. Das Rohr war gitterartig und bestand aus flachen, eisernen Stäben (mit Zwischenräumen, die der Breite dieser Stäbe nahe gleich waren), welche in entsprechenden Distanzen durch Ringe verbunden waren. Der Grund, warum das Rohr derartig eingerichtet wurde, entsprang der Absicht, dadurch die Entstehung von Strömungen ungleich erwärmter Luft im Innern des Rohres

[1]) Ganz ähnlich den grösseren Herschel'schen Teleskopen war auch dasjenige aufgestellt, welches im Anfang dieses Jahrhunderts in Lilienthal von J. H. Schröter benutzt wurde. Der 20zöllige Spiegel (es waren zwei vorhanden, die jetzt noch in Göttingen aufbewahrt werden) war von Prof. Schrader in Kiel hergestellt. Näher auf dieses und ähnliche Instrumente jener Zeit einzugehen, dürfte sich aber an dieser Stelle kaum lohnen.

[2]) Astron. Nachr., Bd. 63, S. 369, und Carl, Report. d. Exp.-Physik, I, S. 162. Die Abmessungen der einzelnen Theile sind aus der Figur ersichtlich.

[3]) Description of an observatory erected at Starfield, near Liverpool, M. R. A. Soc., Bd. XII, S. 265 — Description of a machine for polishing specula etc., and a description of a 20-feet Newtonian teloscop equatoreal mounted at Starfield, M. R. A. Soc., Bd. XVIII, S. 21.

zu verhindern oder auch die Ungleichheit der inneren und äusseren Temperatur zu vermeiden, und diese Absicht wurde auch vollständig erreicht".

„Ich, sagt LASSELL in seiner Beschreibung weiter, halte diese Art der Montirung, wenn sie eben in so grossem Maassstabe ausgeführt wird, für sehr zweckmässig, und ich habe im Verlaufe des Gebrauches keine nachtheilige Einwirkung der Biegung des Gerüstes bemerkt. Auch der Polhöhe des Beobachtungsortes von 35° 55′ entspricht sie sehr gut; allein ich würde einiges Bedenken tragen, sie ohne einige Modifikation in einer niederen Breite anzuwenden. Das Teleskop ist mit keinem Dache versehen, allein der Beobachter ist geschützt, wenn er sich auf einem der Stockwerke, (je nach der Höhe des betrachteten Objektes) im Turme befindet. Dieser bietet ein Mittel, bequem zum Okulare zu gelangen, und der Beobachter steht etwa 39 Fuss vom Boden ab, wenn das Teleskop gegen das Zenith gerichtet ist."

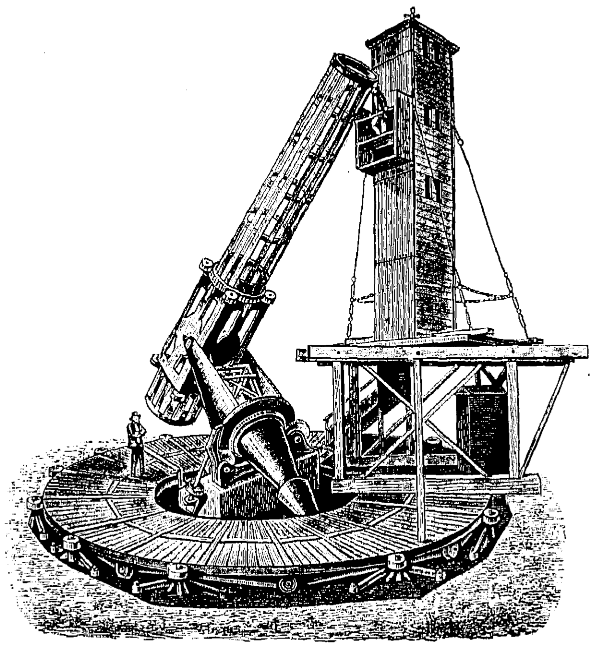


Fig. 1106.

„Eine Treppe in dem Thurme führt zu den verschiedenen Stockwerken, welche gegen $4^1/_2$ Fuss im Quadrat haben. Dieser Thurm wird auf einer kreisförmigen Schienenbahn geführt und gestattet ausserdem eine Drehung um seine Axe, sowie eine radiale Bewegung gegen das Teleskop hin und davon weg, sodass das Okular für die meisten Höhen- und Stundenwinkel leicht zugänglich ist; wir haben indessen im Allgemeinen blos an den zugänglichsten Stellen, nämlich drei Stunden östlich und westlich vom Meridian beobachtet."

„Mit einem Uhrwerk ist das Teleskop, obgleich, wie die Figur zeigt, äquatoreal montirt, nicht versehen, nur ein Räderwerk ist vorhanden, welches mittelst einer Kurbel durch einen Gehülfen gedreht werden kann (nach den Schlägen einer Uhr). Der Ersatz ist aber völlig genügend. Ja, in mancher Hinsicht ist diese Art der Bewegung der gewöhnlichen vorzuziehen, da sie plötzlich unterbrochen, bald nach Belieben beschleunigt oder verzögert werden kann, wenn dies für einen besonderen Zweck erforderlich sein sollte." [1])

„Die Korrektionen des Instrumentes haben sich nicht merklich geändert,

[1]) Es ist natürlich hier zu beachten, dass dieses vor 30—40 Jahren geschrieben wurde.

seitdem es zuerst aufgestellt wurde, d. h. sie haben keine Änderungen gezeigt, welche auf eine Änderung der Polar- und Deklinationsaxe schliessen lassen. Während der Benutzung des Instruments wurden die grossen Spiegel wiederholt polirt und gewechselt und dabei jedesmal eine vollständige, neue Berichtigung der beiden grossen und kleinen Spiegel vorgenommen, allein die Korrektionen blieben im Allgemeinen in so enge Grenzen eingeschlossen, dass daraus irgend eine Schwierigkeit oder ein Nachtheil nicht hervorgeht."

„Da das Teleskop ganz in freier Luft steht und jedem Witterungs- und Temperaturwechsel ausgesetzt ist, so mussten die Spiegel nothwendig auch einer grösseren Gefahr ausgesetzt sein, als wenn sie in einem geschlossenen Raume gewesen wären, namentlich der Planspiegel, der sich hoch in der Luft am oberen Ende des Rohres befindet. Es ist übrigens in der Praxis von weit grösserem Belange, dass die Oberfläche des Planspiegels vollständig rein und glänzend sei, als dass dieses beim Hohlspiegel stattfinde."

Wenn das Fernrohr gegen das Zenith gerichtet war, wurde der grosse Spiegel durch ein System dreiarmiger Hebel an einer grossen Menge von Punkten unterstützt. Da aber diese Unterstützung bei geneigter Lage des Spiegels einer Formänderung desselben durch die eigene Schwere nicht vorbeugen würde, hatte LASSELL noch ein zweites System von Gegengewichten angebracht, welche in mehreren parallel laufenden Reihen in die Rückseite des Spiegels eingriffen. Letzterer nahm seine regelrechte Form an, sobald die Axen jener Gegengewichte horizontal standen. Um dieses für alle Richtungen des Instrumentes zu erzielen, war es nothwendig, dass der Spiegel im Rohr oder vielmehr das Rohr sammt Spiegel um seine eigene Axe gedreht werden konnte. Diese Operation musste bei jeder einzelnen Beobachtung, wenn es sich um scharfes Sehen handelte, vorgenommen werden, und für ihre Ausführung war das erforderliche Räderwerk an dem in den Lagern ruhenden Mittelstück, das der Wiege an unseren Refraktoren entspricht, angebracht. Jene Drehung brachte zu gleicher Zeit hervor, dass der Okularansatz, durch welchen der Beobachter in den kleinen Spiegel hineinschaute, eine nahezu horizontale Stellung einnahm, wodurch andererseits dem Beobachter die Möglichkeit geboten war, einigermassen von seinem Standpunkte aus die richtige Stellung des grossen Spiegels zu kontroliren.

Das Metall, aus welchem die Spiegel bestanden, war eine Legirung von zwei Gewichtstheilen Kupfer auf einen Gewichtstheil Zinn.

d. Der grosse Reflektor zu Melbourne von TH. GRUBB.

Als es sich darum handelte, für Melbourne ein grosses Fernrohr zu beschaffen, mit welchem man in der Lage sein würde, die Arbeiten J. HERSCHELS fortzusetzen resp. zu vervollständigen, wurde nach langen Verhandlungen beschlossen,[1]) einen grossen Reflektor zu bauen und THOMAS GRUBB

[1]) Ein besonders zu diesem Zwecke gewähltes Comité (Lord Rosse, General Sabine, J. Herschel, Airy, Lassell u. s. w.) hatte sich mit den betreffenden Festsetzungen zu beschäftigen. Die Details der Verhandlungen und Beschreibungen des Instruments sind in geringerer oder grösserer Vollständigkeit zu finden in: Reports of the British Association 1850, XVII; 1851, XXIV: 1853, XXV. Ausführlich ist der ganze Briefwechsel zwischen den

wurde mit der Konstruktion beauftragt. Von den mehrfachen Formen der Aufstellung, welche vorgeschlagen waren, wurde schliesslich dem Instrument die in Fig. 1107 in Gesammtansicht dargestellte gegeben, und dasselbe nach Cassegrain'schem Typus eingerichtet. Die Dimensionen sind:

Öffnung des Hauptspiegels	48 Zoll	=	1,219	m
Öffnung des kleinen Spiegels	8 „	=	0,203	„
Brennweite des Hauptspiegels	360 „	=	9,14	„
Brennweite des kleinen Spiegels	74,7 „	=	1,9	„
Äquivalentbrennweite des Systems	1994 „	=	50,65	„

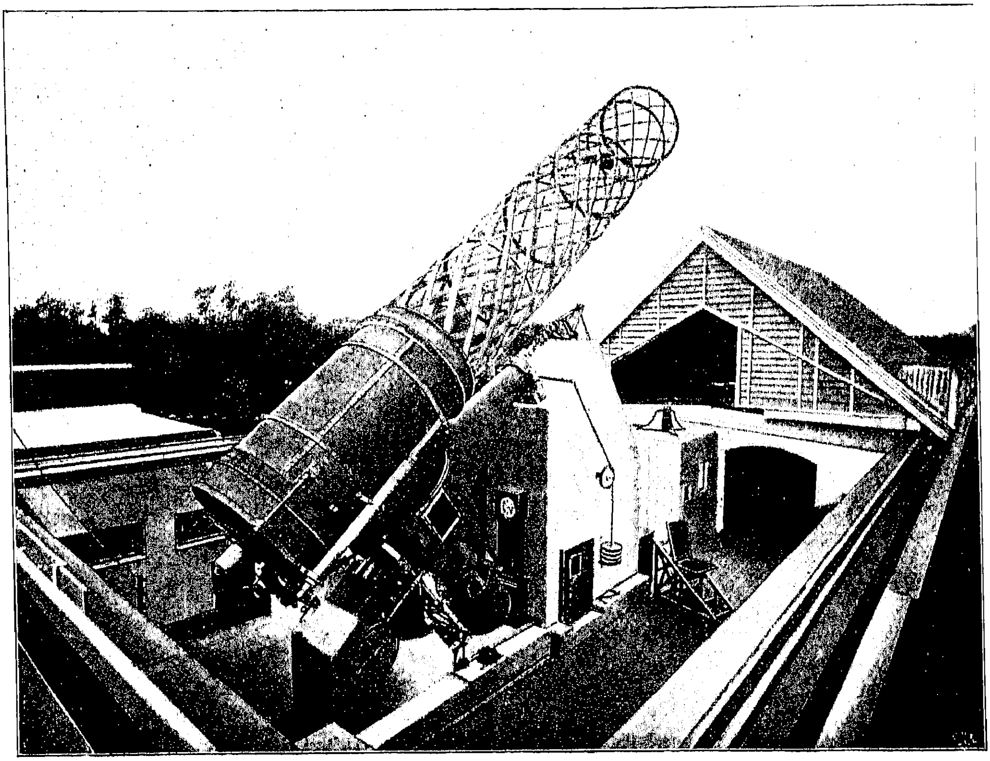


Fig. 1107.

Die Aufstellung ist nicht unähnlich der sogenannten englischen Montirung, insofern die Stundenaxe auch an ihren beiden Enden auf zwei nahezu unabhängig von einander aufgemauerten Pfeilern ruht. Die Deklinationsaxe kreuzt die Stundenaxe zwischen deren beiden Zapfen. Die Letzteren ruhen in Lagern, welche auf den beiden Pfeilern angebracht sind. Die Klemmen und Feinbewegung in Rektascension, sowie der Sektor für die Uhrbewegung und der eigentliche Stundenkreis liegen zwischen Deklinationsaxe und un-

Comitémitgliedern wiedergegeben in: Correspondence concerning the great Melbourne Telescope. In three parts: 1852—1870, London 1871. Die Fig. 1107 ist der Darstellung des Instruments in: Observations of the southern Nebulae made with the Great Melbourne Telescope from 1869—1885 entnommen.

terem Zapfen, dessen Lagerdruck bezüglich der zur Stundenaxe Komponente durch einen Sektor aufgehoben wird, dessen Anordn. Fig. 1108 ersichtlich ist. Auf die Axe r desselben wirkt durch \ einer starken Federscheibe e die Schraube d, wodurch dem Sektor A die erforderliche Stellung gegeben werden kann, seine Peripherie stützt dann den unteren Axzapfen a. Die in der Richtung der Polaraxe wirkende Komponente des Druckes (Gewicht aller beweglichen Theile des Instruments) wird durch ein Gewicht aufgehoben, welches an den längeren Arm eines Hebelsystems L, Fig. 1109, angreift und an der südlichen Seite des Südpfeilers herabhängt. Dieses Hebelsystem ist um die Axe bei L″ drehbar (der Arm l′ und die Stangen s, s dienen nur zur Verstärkung des Systems),

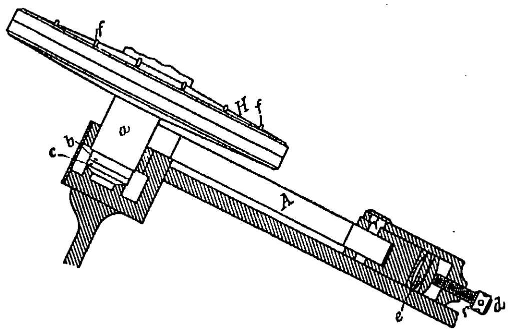


Fig. 1108.

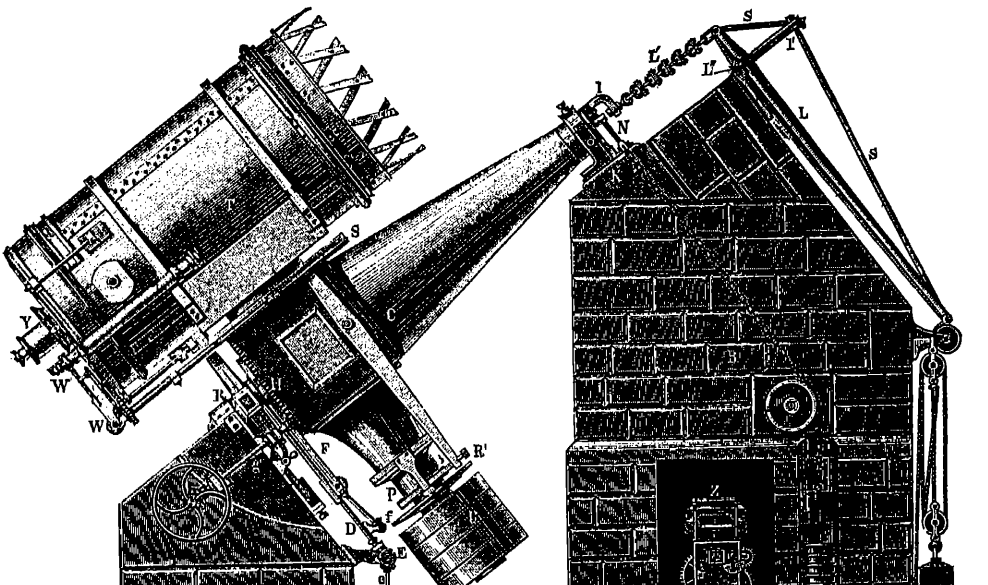


Fig. 1109.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

und an dem kürzeren Arme L‴ ist eine eigenthümlich geformte Kette L′ befestigt, deren unterstes Glied sehr leicht um eine in der Kettenrichtung liegende Axe drehbar mit einem Ansatze l an dem oberen Zapfen verbunden

ist. Durch diese Einrichtung kann für jede Lage des Instruments die Äquilibrirung in gleicher Weise wirken.

Die in der eben beschriebenen Weise äquilibrirte Stundenaxe ist 123 Zoll lang und der Zapfendurchmesser beträgt 12 Zoll. Nahe dem unteren Zapfen geht die stark konische Form der Axe in einen Kubus über, welcher die Büchse für die Deklinationsaxe bildet und auch an den beiden noch übrigen Seiten durchbrochen ist. Die beiden Zapfenlager sind in den Fig. 1110a u. b dargestellt; eine nähere Erläuterung dürfte nicht nöthig sein, ausser der, dass die Aufhebung des Druckes im oberen Lager durch den Sektor d bewirkt wird, indem dieser gegen den mit dem Zapfen koncentrischen Cylinder e mittelst eines besonderen Hebelsystems angedrückt wird. An den langen Armen der beiden Hebel ziehen in der aus Fig. 1109 ersichtlichen Weise zwei Gewichte.

Zur Aufhebung des Druckes der Deklinationsaxe in ihren Lagern hat Th. Grubb ein System von Rollen und Hebeln angewendet, welches im Princip genau dieselbe Einrichtung besitzt, wie sie bei dem Wiener Refraktor beschrieben wurde, für welchen es, wie auch dort erwähnt wurde, als Vorbild gedient hat. Die beiden die Axe zwischen Fernrohr und Lager sowie

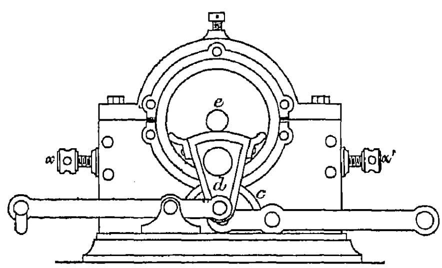


Fig. 1110 a.

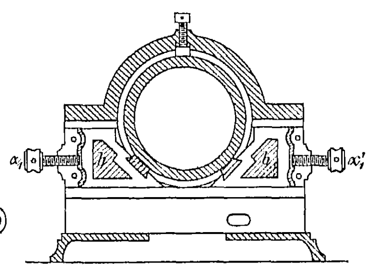


Fig. 1110 b.

nahe dem Gegengewicht U umspannenden Rollenringe werden durch zwei Hebel O getragen, welche sich auf je einen Drehpunkt an den Seiten des Kubus stützen. Das die Deklinationsaxe nebst Fernrohr in ihrer Längsrichtung stützende Rollensystem liegt wie beim Wiener Refraktor im Innern des Kubus.

Die Einstellung des Instruments geschieht in Rektascension mittelst des Handrades bei G in leicht zu übersehender Weise. Die Verbindung mit dem Uhrwerk Z wird durch einen besonderen Sektor F, der ebenfalls dem später beim Wiener Refraktor verwendeten zum Muster gedient hat, hergestellt.

Das Triebwerk besitzt einen Centrifugalregulator, bei welchem die zwei Watt'schen Kugelhebel nach oben gegen senkrechte Bolzen drücken, und diese wiederum an einer horizontalen Ringfläche gleiten; die dabei auftretende Reibung ist der regulirende Faktor und sie dient auch zugleich zur Aufzehrung der überschüssigen Triebkraft bei leer laufendem Uhrwerk. Die Äquilibrirung des Instruments ist übrigens so gut durchgeführt, dass nach Robinson's Bericht in den Philos. Transact. 1869 ein Gewicht von 10 Pfund genügte, um das Instrument an einem Hebel von 10 Fuss Länge in Rektascension zu bewegen. Das Uhrwerk ist in einer Höhlung des Südpfeilers auf-

gestellt und als Gewicht für dasselbe wird gleichzeitig dasjenige benutzt, welches an der Südseite dieses Pfeilers herabhängt und dort an dem unteren Ende des Hebels L zu dem schon erwähnten Zwecke eingreift. Bezüglich specieller Einzelheiten muss ich aber hier auf die erwähnte sehr ausführliche und in verschiedener Hinsicht höchst interessante Beschreibung von Robinson verweisen.[1])

Für den Reflektor wurden zwei gleiche Hauptspiegel hergestellt, sodass sich immer einer davon in gutem Zustande im Rohre befinden kann, während der andere in der besonders zu diesem Zwecke mit den nöthigen Maschinen ausgerüsteten Werkstatt, welche sich direkt neben dem Reflektor in demselben Gebäude befindet, neu polirt wird; denn allzulange hält die Reinheit der Politur den Einwirkungen der Atmosphärilien nicht Stand.

Um die Spiegel leicht auswechseln zu können, ist jeder für sich in eigner Zelle völlig montirt und mit den oben schon beschriebenen Äquilibrirungshebeln u. s. w. (Seite 380) versehen. Dicht oberhalb des Spiegels ist die Zelle durchbrochen, um den Spiegel bei Nichtgebrauch bedecken zu können. Die Zelle wird mit dem Mitteltheil des Rohres durch drei starke Schraubenbolzen verbunden und kann auf besonderen Wagen von der Werkstätte zum Fernrohr gefahren und mit diesem dann in gefahrloser und leichter Weise in Verbindung gebracht werden. Die Spiegel besitzen in der Mitte eine Öffnung von 8 Zoll Durchmesser, durch welche der vom kleinen Spiegel kommende Strahlenkegel nach dem Okular hindurchgehen kann. Das Rohr besteht ausser der Zelle des Spiegels noch aus zwei gesonderten Theilen, nämlich dem cylindrischen Mitteltheile T, welcher aus starken, schmiedeeisernen Platten in einer Weite von über 60 Zoll und einer Länge von 93 Zoll hergestellt ist. Dieser Theil ist mittelst starker Spangen auf der das eine Ende der Deklinationsaxe bildenden Wiege befestigt. Der andere weit längere Theil des Rohres besteht aus einem sehr steifen Gitterwerk aus Stahlstreifen, welche in der aus der Fig. 1107 leicht ersichtlichen Weise gewissermassen das Gerippe eines Rohres bilden. Dasselbe ist $20\frac{1}{2}$ Fuss lang und mit dem Mitteltheile durch besondere Flantschen und Schrauben fest verbunden. Etwa 39 Zoll vom oberen Ende dieses Gitterrohres ist der kleine (Konvex-) Spiegel Y auf einer eisernen Säule (Fig. 1111) angebracht, die ihn in der Axe des

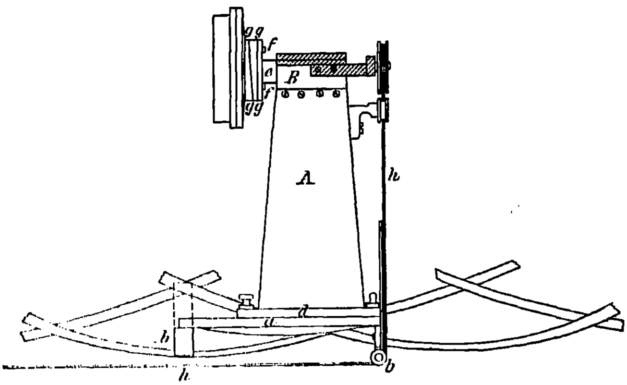


Fig. 1111.

[1]) Als Anhang ist derselben auch ein Vergleich zwischen Refraktor und Reflektor beigegeben, der erheblich zu Gunsten der Letzteren ausfällt, wenn man, wie Robinson es thut, die Kosten und die Schwierigkeit in der Herstellung der Glasscheiben in Betracht zieht, die vor 30 Jahren noch bestanden.

Rohres hält und auf der ein zwischen Leisten verschiebbarer Schlitten befestigt ist. Der Arm e, welcher den kleinen Spiegel direkt trägt, ist in sinnreicher Weise so aus mehreren Stücken g, g zusammengesetzt, dass eine Centrirung leicht möglich ist, und ausserdem kann derselbe auch durch eine Schraube zwischen Schieberleisten in der Richtung der optischen Axe zur Fokusirung bewegt werden. Letztere Bewegung wird durch einen Schnurlauf h h vom Okularende ausgeführt, indem die Schnur über den als Rolle gebildeten Schraubenkopf in geeigneter Weise hinweg und an der Aussenseite des Rohres entlang bis um den Okularstutzen herum geführt wird, durch dessen Drehung dann der kleine Spiegel dem grossen näher oder ferner gerückt werden kann.

Auch von dem kleinen Spiegel sind zwei Exemplare im Gebrauch; ein versilberter Glasspiegel war zu ihrem eventuellen Ersatz mit angefertigt worden, kam aber leider zerbrochen an Ort und Stelle an. Fig. 1112 giebt eine Darstellung der Rückseite des grossen Spiegels resp. zugleich des Okularendes des Instruments. Es sind a, a die drei Bolzen, welche die Fassung des Spiegels mit dem Rohre verbinden, b, b, b drei Schrauben zur Regulirung der Spiegellage, A ist das Okular (bei schwächster Vergrösserung mit einer Feldlinse von noch 8 Zoll Durchmesser), C ist das auf dem Okularstutzen koncentrisch angebrachte Handrad für die Fokusirung; über eine Rolle an demselben läuft die Schnur hh. Durch das Rad B kann schnelle Bewegung in Deklination bewirkt werden, indem der Schaft desselben durch eine Übertragung mittelst konischer Räder in ein grosses Zahnrad eingreift, welches auf dem Kubus der Stundenaxe sitzt, senkrecht zur Deklinationsaxe (Fig. 1109). An demselben Rade kann auch durch eine grosse Ringklemme die Sicherung des Instruments in Deklination erfolgen. In E ist der 4zöllige Sucher befestigt.

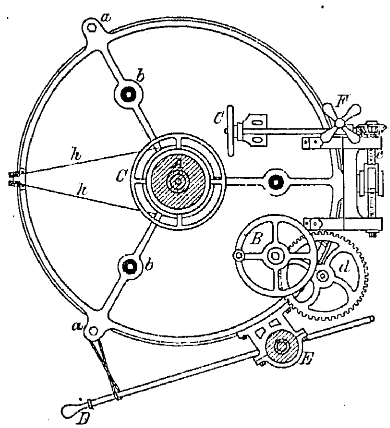


Fig. 1112.

Die Einrichtung des langen Gitterrohres wurde getroffen, weil das Instrument beim Gebrauch ganz im Freien steht, also dem Wind eine möglichst geringe Fläche darbieten darf,[1]) und sodann auch, damit bewirkt werde, dass bei gleicher Vertheilung der statischen Momente des Rohres bezüglich der Deklinationsaxe der Spiegel und damit das Okular dieser Axe sehr nahe (bis auf 45 Zoll) gebracht werden konnte, was für die Bequemlichkeit der Beobachtung von grossem Werthe ist, da bei allen Bewegungen des Instruments das Okular nur relativ kleine Ortsveränderungen, besonders in vertikaler Richtung erleidet. Auch ist die Durchbiegung des Rohres bei der gewählten Einrichtung verhältnissmässig sehr gering, was ebenfalls für die

[1]) Die spätere Erfahrung hat gezeigt, dass trotz dieser Vorsichtsmaassregel doch schon schwacher Wind das Beobachten sehr erschwert und die Bildqualität erheblich beeinträchtigt. Dazu ist auch das bei Lassell's Teleskop Gesagte zu vergleichen.

Bildbeschaffenheit in verschiedenen Zenithdistanzen von erheblichem Werthe ist. Der kleine Spiegel steht von dem grossen um nahe 300 Zoll (7,6 m) ab, liegt also um 60 Zoll (1,5 m) näher an diesem, als dessen Brennweite beträgt. Das Rohr ist um 39 Zoll (1,0 m) länger, als es die Entfernung zwischen beiden Spiegeln erfordert. Am äussersten Rande kann eine photographische Kamera angebracht werden, deren Platte im primären Fokus liegt, und auf welcher das

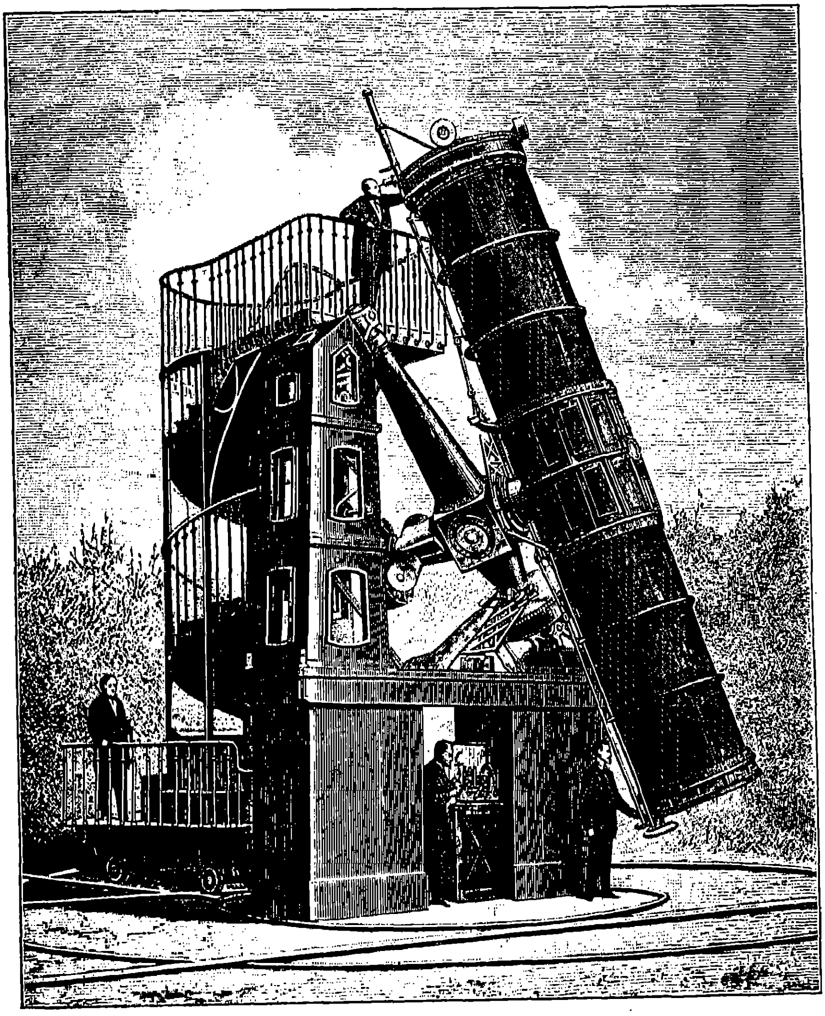


Fig. 1118.
(Nach Schweiger-Lerchenfeld, Atlas d. Himmelskde.)

Mondbild einen Durchmesser von etwas über $3\,^1/_2$ Zoll hat. Bei Expositionszeiten über 2—3 Minuten liefert aber das Instrument nur bei ganz stillem Wetter noch kreisrunde Sternbilder, im Allgemeinen werden nur bei sehr kurzen Expositionen gute Resultate erzielt. Bei Mondaufnahmen muss die Öffnung des Spiegels schon erheblich abgeblendet werden. Ob in letzter Zeit auch Versuche mit Aufnahmen im sekundären Fokus gemacht worden sind, ist mir nicht bekannt geworden; bis 1885 war das noch nicht geschehen, da

man sich trotz der erheblichen Vergrösserung der direkten Bilder kein Resultat davon versprach. Diese äusserst starke Vergrösserung lässt auch bei den schwächsten verwendbaren Okularen (es werden nur solche Huyghens'scher Konstruktion benutzt) nur ein Gesichtsfeld von $12\,^1/_2$ Minuten bei einer Vergrösserung von 234 erreichen. Das stärkste noch mit einigem Vortheil anwendbare Okular giebt eine etwa 1000malige Vergrösserung.

Neben dem photographischen Apparat ist dem Instrument auch ein Spektroskop beigegeben worden, doch scheint dieses noch wenig Verwendung gefunden zu haben.

e. Der Pariser Reflektor mit versilbertem Glasspiegel.

In ein weiteres Stadium trat der Bau der Spiegelteleskope, als die Fortschritte auf dem Gebiete der technischen Chemie gelehrt hatten, grosse Glasflächen in sehr gleichmässiger Weise zu versilbern. Man konnte nun an die Stelle der immerhin schwierig herzustellenden Metallspiegel solche aus Glas setzen, für die die optische Beschaffenheit dieses Materials keine Rolle spielte, sondern nur die ihm durch Schliff zu ertheilende Form.

Eines der ersten grösseren Instrumente dieser Art ist der bekannte grosse Reflektor der Pariser Sternwarte, dessen optische Theile nach L. Foucault's Angaben von Martin[1]) angefertigt wurden. Der Spiegel hat einen Durchmesser von 1,20 m und ist in einem entsprechend starken, eisernen, cylindrischen Rohre montirt. Von unten wird er durch ein geeignetes System von Druckschrauben gehalten. Die Einrichtung des Instruments ist nach dem Newton'schen Princip getroffen; dem Übelstand, welchen dieses System bei grösseren Instrumenten mit sich bringt, dass das Okular sich meist viele Meter hoch über dem Fussboden befindet, wurde durch die Aufstellung einer geeigneten Treppe, deren Form die Fig. 1113 genügend erkennen lässt, abgeholfen. Auf diese Weise ist es dem Beobachter möglich, überall bequem zu dem Okular zu gelangen, da sich jene Treppe auf einer Ringbahn um das ganze Instrument herum führen lässt. Ein näheres Eingehen auf dieses, aus vielfachen Abbildungen bekannte Instrument kann hier unterbleiben, da, soweit bekannt geworden ist, besondere Beobachtungen mit ihm nicht ausgeführt werden.

f. Das sechsfüssige Teleskop des Earl of Rosse.

Das grösste bis jetzt gebaute Spiegelteleskop ist dasjenige, welches Earl of Rosse in Parsonstown besitzt. Der Spiegel desselben hat einen Durchmesser von 6 Fuss bei einer Brennweite von 55 Fuss. Die Montirung ist die Newton'sche, und die bei sehr günstigen Luftverhältnissen zu erreichende Vergrösserung lässt sich bis zu einer 6000maligen steigern.

In mehreren Abhandlungen hat der Verfertiger sowohl dieses Instrument als diejenigen beschrieben, welche er vor- und nachher ausführte, und es mag hier besonders auf die höchst interessante Beschreibung hingewiesen

[1]) Der grösste Spiegel, den L. Foucault selbst hergestellt hat, ist der des Reflektors zu Marseille mit 0,80 m Durchmesser.

werden, welche er von der Herstellung des erst nach 5maligem Guss gelungenen Spiegels giebt.[1]) Die Aufstellung und äussere Einrichtung des Instruments ist in den Fig. 1114 u. 1115 dargestellt, und einige kurze Erläuterungen nach ROSSE's eigenen Angaben mögen hier noch folgen.

Das Rohr ist an seinem unteren Ende durch ein sehr stark gearbeitetes Universalgelenk[2]) unterstützt. Es wird äquilibrirt durch Gewichte, welche sich in einer nahezu mit der von dem Schwerpunkt des Instruments beschriebenen Kurve zusammenfallenden Bahn bewegen, sodass ein nahe gleichmässiger

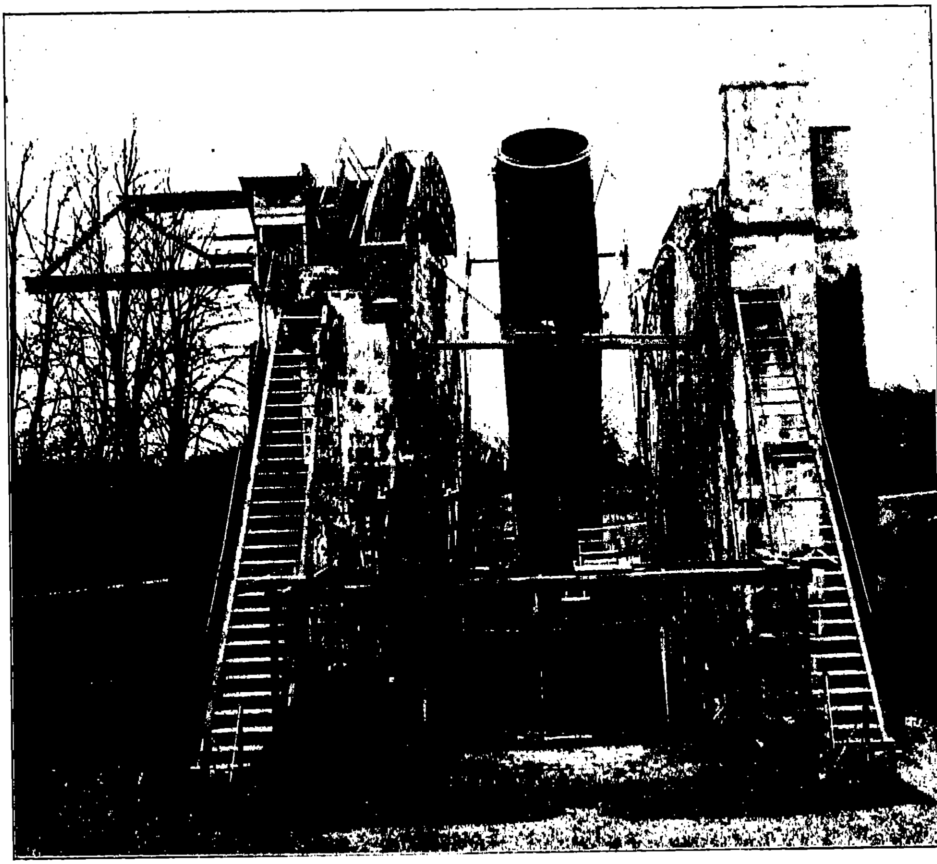


Fig. 1114.

Zug auf die das Rohr haltende Kette auch für verschiedene Zenithdistanzen ausgeübt wird. Die seitliche Bewegung des Teleskops kann bis zu etwa 12° nach jeder Seite vom Meridian ausgedehnt werden, wobei durch eine besondere

[1]) Die erwähnten Abhandlungen sind enthalten in den Philos. Transact. für 1840 und 1850. Die das sechsfüssige Teleskop besonders betreffenden, in dem Jahrgang von 1861 Part III; spätere Mittheilungen über eine an diesem Instrument angebrachte Uhrbewegung und die Montirung eines neuen, dreifüssigen Instruments in Philos. Transact. 1880, Part I.

[2]) Dieses Lager zeigt Fig. 1116. An der Platte A, A ist das Teleskop befestigt, sie bewegt sich einmal um die Axe bei C und sodann um die horizontale Axe in den Lagerböcken D.

Anordnung der Aufhängekette die Gesichtslinie nahezu in demselben Parallel bleibt. Die Bewegung in Rektascension erfolgt auf einer Stange, welche mittelst Rollen auf einem Kreisbogen von 40 Fuss Radius läuft. Mit dieser Stange ist das Rohr durch einen Zapfen verbunden und kann durch eine Schraube ohne Ende längs derselben bewegt werden, welche sowohl vom unteren Ende des Rohres als auch vom Beobachter aus durch einen geeigneten Schnurlauf gedreht werden kann. Die einzelnen Theile des Kreisbogens wurden mittelst eines Durchgangsinstrumentes genau in den Meridian eingerichtet. Zur Einstellung der Deklination der Gestirne ist an dem unteren Ende des Rohres ein 18zölliger Aufsuchekreis angebracht. Gewöhnlich aber dient zur Aufsuchung der Gestirne ein Indexarm von 6 Fuss Länge, der an der Horizontalaxe des Universalgelenks befestigt ist.

Damit der Beobachter in allen Lagen des Instruments das Okularende leicht erreichen kann, ist für Poldistanzen von 120—80° auf jeder Seite eine einfache Leiter angebracht, welche beide durch eine Galerie verbunden sind, auf der auch bei Beobachtungen ausserhalb des Meridians genügend Platz ist. Eine zweite Treppe kann für Poldistanzen von 80—50° und eine dritte für solche

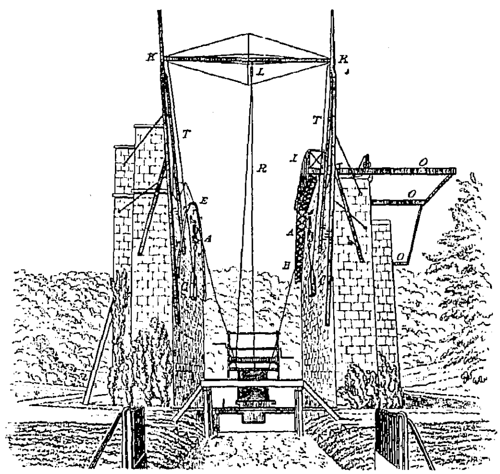


Fig. 1115.

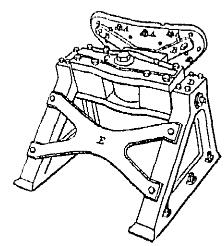


Fig. 1116.

bis zu 25° benutzt werden. Vorgesehen war auch noch eine weitere, die bis zu 40° nördl. Zenithdistanz dienen sollte, doch gelangte dieselbe nicht zur Benutzung.

Die Okulareinrichtung besteht aus zwei Rohren, welche auf einem gemeinsamen Schlitten ruhen, und von denen das eine ein Okular von stärkerer, und das andere ein solches von geringerer Vergrösserung trägt, sodass beide leicht mit einander vertauscht werden können.

Nach den gemachten Erfahrungen ist diese Montirung sogar bei starkem Winde genügend, obgleich sich natürlich alle Theile des Instruments im Freien befinden und nur durch die hohen Seitenmauern geschützt werden. Auch der Spielraum der Bewegung in Rektascension hat sich als völlig ausreichend für die Zwecke, die mit diesem Teleskop verfolgt werden sollen, erwiesen. (Zeichnungen der Nebelflecke, der Planetenoberflächen, von Theilen der Milchstrasse und vor allem Messungen der Strahlungsverhältnisse des Mondes u. s. w.) Die Vergrösserungen, welche Lord Rosse als die zweckmässigsten befunden hat, überschreiten nicht 1300, während er mit seinem 3füssigen

Instrumente häufig bis zu 2000facher Vergrösserung gehen konnte; ein Beweis dafür, dass die Grösse eines Instruments durchaus keinen Maassstab für die erreichbaren Vergrösserungen giebt, und dass in unseren Klimaten die atmosphärischen Verhältnisse und nicht die Kraft der Instrumente die anwendbaren Vergrösserungen bestimmen. Lord Rosse ist weiterhin der Meinung, dass noch grössere Metallspiegel, selbst wenn sie herstellbar seien, keinen erheblichen Vortheil gewähren würden.[1]) Er glaubt sogar selbst, dass bei der mühevollen und gefährlichen Arbeit des Herausnehmens, Po-

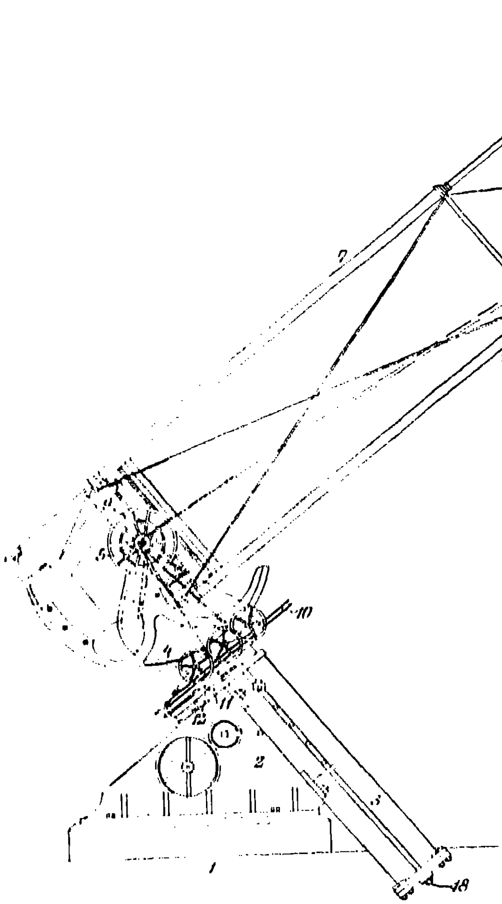


Fig. 1117.

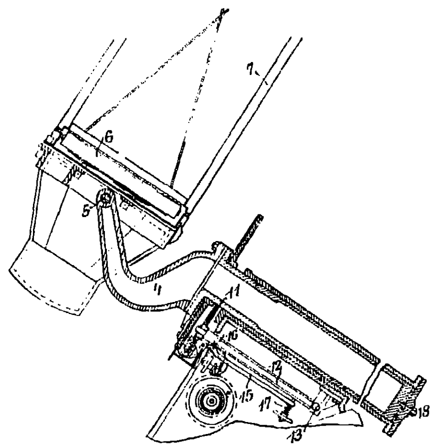


Fig. 1118.

lirens und Wieder-Einsetzens des grossen Spiegels dieser oft länger benutzt wird, als seine Politur es gestatten sollte, sodass er mehrfach mit dem dreifüssigen Teleskop Sternhaufen hat besser auflösen können, als mit dem grossen Instrument.

In den letzten Jahrzehnten sind Reflektoren von so grossen Dimensionen nicht mehr gebaut worden, wohl aber mehrere bis zu 3 Fuss Spiegeldurchmesser, und man hat von verschiedenen Seiten auch versucht, die Mon-

[1]) Mr. Common meint allerdings, dass Glasspiegel von 8—9 Fuss gemacht und mit Vortheil angewendet werden könnten.

tirungen so einzurichten, dass eine bequeme Benutzung in allen Stundenwinkeln möglich ist. Sowohl Metallspiegel als auch versilberte Glasspiegel sind zu diesem Zwecke hergestellt worden. Ich will hier nur auf die Instrumente hinweisen, welche ebenfalls von ROSSE, von CROSSLEY und namentlich von COMMON angegeben und zum Theil auch ausgeführt worden sind.[1]) Zwei von dem Letzteren entworfene Montirungen mögen hier noch näher erläutert werden, zumal die für seinen 3füssigen Spiegel sehr nahe mit der von ROSSE für ein gleich grosses Instrument angegebenen übereinkommt.[2])

g. A. COMMON's Reflektoren.

Das kleinere Instrument wurde Ende der 70er Jahre ausgeführt und ist in seinen wesentlichen Theilen in den Fig. 1117 u. 1118 dargestellt. Auf einem stark fundirten Pfeiler 1 ruht ein gusseiserner Kasten 2, dessen eine nach Süden gerichtete Fläche eine der Polhöhe entsprechende Neigung hat. Die zweite abschliessende Fläche steht senkrecht dazu. Auf der ersteren Fläche ruht in geeigneten Trägern die stählerne Büchse 3 für die Polaraxe. Diese ist aus einem Hohlcylinder gefertigt, der am unteren Ende eine centrale Bohrung hat, in welche ein in den Boden der Büchse befestigter Bolzen 18 zu ihrer Führung eingreift. Am oberen Ende wird dieselbe von einem korrigirbaren Ringlager gehalten. Der Axencylinder füllt die Büchse nicht ganz aus und der Zwischenraum ist zur Verminderung der Reibung und des Axendruckes mit Quecksilber ausgefüllt. Am oberen Ende der Polaraxe ist ein gebogener Arm 4 befestigt, welcher in einer Durchbohrung die Deklinationsaxe 5 aufnimmt. Der grosse Spiegel 6 des Teleskopes ist in einer besonderen Zelle gefasst, in welcher sich auch die Hebeleinrichtungen zur Aufhebung der Durchbiegung des Spiegels befinden, wie sie die Fig. 1119a u. b erkennen lassen. Das Lager für die

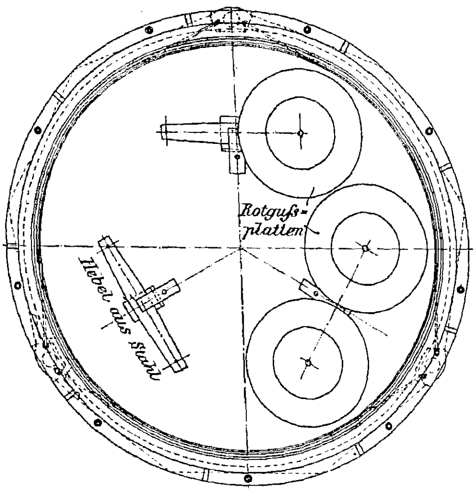


Fig. 1119 a.

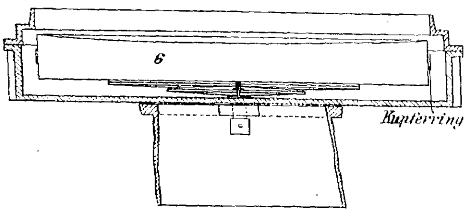


Fig. 1119 b.

[1]) Fast ausschliesslich sind es Engländer, welche sich mit der Vervollkommnung der Reflektoren beschäftigt haben, dabei dürfen aber auch die Verdienste von Prof. Safarik in Prag um die Herstellung guter Glasspiegel nicht vergessen werden.

Auch der bekannte Optiker Dr. H. Schröder hat gute Spiegel geschliffen und sich mehrfach um die technischen Einrichtungen verdient gemacht.

[2]) Monthly Notices, Bd. XXXIX, S. 384 (vergl. Anmerkung S. 1191). Memoirs of the Royal Astron. Soc., Vol. XLVI, Part II und ebenda, Vol. L, S. 113.

Spiegelfassung bildet eine starke Gussplatte, in welche zugleich die beiden Enden der Deklinationsaxe in geeigneten Lagertheilen eingreifen. Auf der Rückseite dieser Platte sind neben dem Arm 4 auf jeder Seite zwei Ständer befestigt, die die Gewichte für das das Rohr ersetzende Rahmenwerk 7 und das dasselbe abschliessende Rohrstück 8 bilden. Letzteres enthält den kleinen Spiegel und den seitlichen Okularstutzen; es ist mit diesem zugleich um die Axe des grossen Spiegels drehbar, so dass in jeder Lage des Instruments

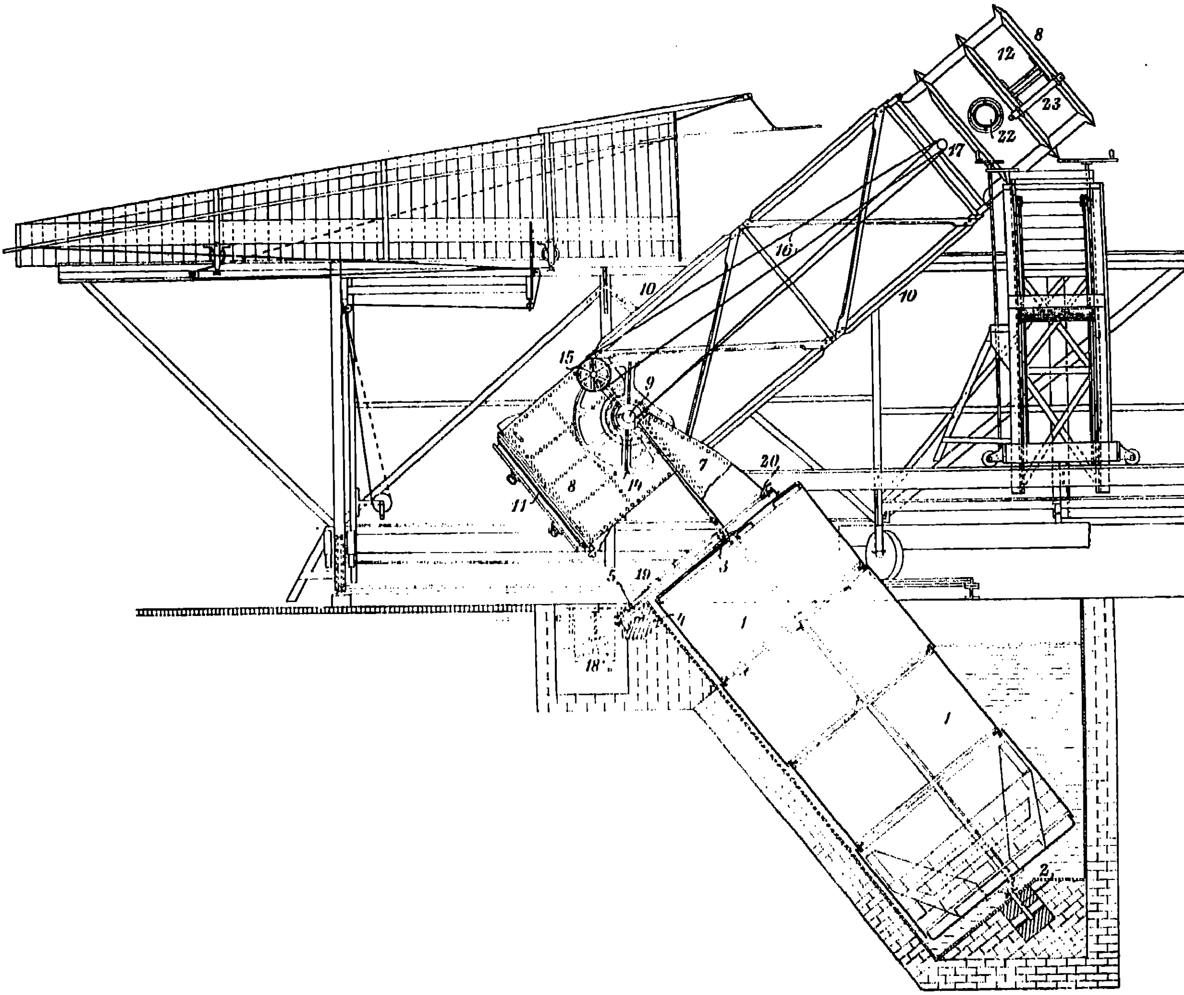


Fig. 1120.

das Okular leicht zugänglich bleibt. An dem einen Ende der Deklinationsaxe ist der Einstellkreis 9 angebracht und am oberen Ende der Stundenaxe befindet sich der Stundenkreis 10, in welchen auch die Wurmschraube des in dem Pfeilerkopfe aufgestellten Uhrwerkes eingreift. Die Aufhebung eines Theiles des Druckes im oberen Lager der Stundenaxe erfolgt durch eine grosse Rolle 11, die sich um einen Zapfen der Stange 12 dreht, die ihrerseits bei 13 um einen Bolzen drehbar ist. Die Rolle 11 wird durch den Hebel 15, dessen oberes gekrümmtes Ende bei 16 aufliegt und dessen un-

teres Ende durch die Schraube 17 gegen den Arm 11 gepresst werden kann, mit der nöthigen Kraft an die Stundenaxe gedrückt.

Bezüglich weiterer Einzelheiten muss aber hier auf die angegebenen Quellen verwiesen werden, die auch noch eine grosse Anzahl Detaildarstellungen der einzelnen Theile, sowie der Gesammtaufstellung und der baulichen Einrichtungen enthalten.

Das zweite der erwähnten Instrumente COMMON's ist ein 5füssiger Reflektor, dessen Aufstellung in vielen Theilen dem hier geschilderten ähnlich ist, bei welchem aber ein auch später von GRUBB einmal vorgeschlagenes Princip der Äquilibrirung angewendet wird, welches allerdings für dergleichen Instrumente einen gewissen Vorzug hat, nämlich die Aufhebung des Axendruckes durch den Auftrieb, welchen die eigenthümlich konstruirte Stundenaxe in einer Flüssigkeit (hier Wasser) erleidet.[1]) Die Fig. 1120 stellt dieses Teleskop in Gesammtansicht dar.

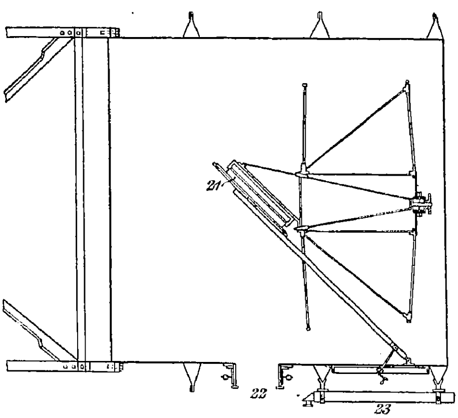


Fig. 1121.

Die Polaraxe ist hier in Form eines grossen cylindrischen Kessels von 7 Fuss 8 Zoll Durchmesser und etwa 15 Fuss Länge gestaltet. Am unteren Theile ist ein ähnliches Lager 2, wie bei dem vorher beschriebenen Instrumente angebracht, während der obere Polaraxzapfen 3 in einem Ringlager geführt wird, welches ein auf dem Blocke 4 korrigirbar befestigten Arm 5 trägt. Jener Kessel taucht über die Hälfte in Wasser ein, welches sich in einer mit Ziegelsteinen ausgemauerten Grube befindet. Der untere Theil des Axcylinders ist innen mit Eisenplatten beschwert, sodass er schon von selbst nahezu die richtige Lage einnehmen würde, trotzdem an seiner oberen Fläche zwischen zwei sechs Fuss langen Armen 7, 7 sich das schwere Teleskop 8, 8 um seine Deklinationsaxe 9 bewegt. Das Teleskop selbst besteht auch hier im Wesentlichen nur aus einem Rahmenwerk 10, und nur der untere Theil, welcher den Spiegel bei 11 enthält, und der obere 12, welcher dem kleinen Spiegel und den Okulartheilen zur Aufnahme dient, ist aus Blechplatten gebildet. Der schwere Spiegel 11 von 5 Fuss (1,5 m) Durchmesser und etwa 5 Zoll (127 mm) Dicke ist sicher in dem unteren quadratischen Theile des Rohres befestigt. Einen Querschnitt und eine Skizze der Äquilibrirungseinrichtungen des Spiegels und seiner Fassung geben die Fig. 1119a u. 1119b. An diesem Rohrtheil sind auch die die Deklinationsaxe repräsentirenden Zapfen 9 befestigt und mit dem einen derselben ist der Deklinationskreis 14 verbunden, welcher zur Ablesung der Deklination und zugleich auch durch Vermittelung des Triebrades 15, des Schnurlaufes 16 und des Handrades 17 zur Einstellung vom Okular aus dient. Die Bewegung in Rektascension wird durch

[1]) Auch bei den dreifüssigen Instrumenten soll das Quecksilber in dieser Weise wirken.

ein Uhrwerk 18 vermittelst Wurmschraube auf einen langen Sektorarm 19 übertragen, welcher bei 20 an den Polaraxcylinder angeklemmt werden kann. Bei 23 ist am oberen Okulartheil ein Sucher mit Okularprisma angebracht. Der kleine (ebene) Spiegel 21, Fig. 1121, ist mittelst eines eigenthümlich konstruirten Rahmenwerkes in dem oberen Rohrtheil befestigt. Sowohl der grosse als der kleine Spiegel können durch geeignete Deckel bei Nichtgebrauch des Instrumentes bequem gegen schädliche Einflüsse geschützt werden.

Zunächst hatte COMMON das Instrument, wie hier beschrieben, als Newton'schen Reflektor konstruirt, später hat er durch Neigung des grossen Spiegels den Strahlengang derart geändert, dass die Axe des Lichtkegels in der Nähe des oberen Endes des Rohres ausserhalb desselben zu liegen kam. Dort hat er einen Konvexspiegel angebracht und so ähnlich, wie es bei den früher beschriebenen Brachyteleskopen der Fall ist, einen modificirten Cassegrain'schen Reflektor daraus gemacht. Nach COMMON's Berichten in den Monthly Notices scheint sich diese Einrichtung gut bewährt zu haben, obgleich zunächst Bedenken bezüglich der Bildbeschaffenheit wegen der schiefen Stellung des Spiegels gehegt wurden.[1])

h. Neuere kleinere Reflektoren.

Abgesehen von diesen grösseren Common'schen Instrumenten werden in neuerer Zeit Reflektoren bis etwa 10 oder 12 Zoll Öffnung in England vielfach gebaut und zwar meist von dem bekannten Optiker JOHN BROWNING; ausserdem fertigen auch die Cooke'schen Werkstätten, sowie HORNE & THORNTHWAITE u. A. dergleichen Instrumente an. Als Hauptspiegel werden in England meist Metallspiegel, in Deutschland und Frankreich aber meist versilberte Glasspiegel verwendet. In Deutschland und Österreich werden die Reflektoren häufig in der Form der von FRITSCH in Wien in grosser Vollkommenheit hergestellten Brachyteleskope gebaut. Dieselben bieten in der That einen sehr guten Ersatz für grössere Instrumente anderer Konstruktion, da dieselben bei mässigem Preise von grosser Leistungsfähigkeit sind und ausserdem, was besonders für Liebhaber der astronomischen Beobachtungskunst wichtig ist, eine handliche und gut transportable Montirung besitzen (vergl. die nähere Beschreibung S. 377 ff.). Einige der englischen Instrumententypen mögen hier noch abgebildet und kurz beschrieben werden.

Fig. 1122 stellt einen Reflektor von BROWNING mit azimuthaler Montirung, die Fig. 1123 u. 1124 stellen Reflektoren aus derselben Werkstätte mit äquatorealer Aufstellung dar. In den meisten Fällen sind diese Instrumente, wie auch hier, nach Newton'schem Principe konstruirt, und es ist daher das Okular für geringe Zenithdistanzen immerhin schwer zu erreichen, weshalb dafür gesorgt sein soll, dass sich das ganze Rohr in einer Wiege oder wenigstens der obere Theil desselben, welcher das Okular trägt, um die

---

[1]) Die vielfachen Untersuchungen, welche COMMON über den besten Bau der Spiegelteleskope ausgeführt hat, lassen ihn als einen der besten Kenner solcher Instrumente erscheinen.

optische Axe des grossen Spiegels drehen lässt, damit das Erstere stets in bequeme Lage — seine Axe etwa horizontal — gestellt werden kann. Bei dem in Fig. 1122 dargestellten Instrumente ist dieses nicht nöthig, da hier die Sehrichtung durch das Okular immer der horizontalen Axe parallel bleiben muss. Auf alle Fälle ist aber immer ein bequem zugänglicher Sucher mit dem Hauptrohr zu verbinden. Die Fig. 1123 zeigt einen Newton'schen Re-

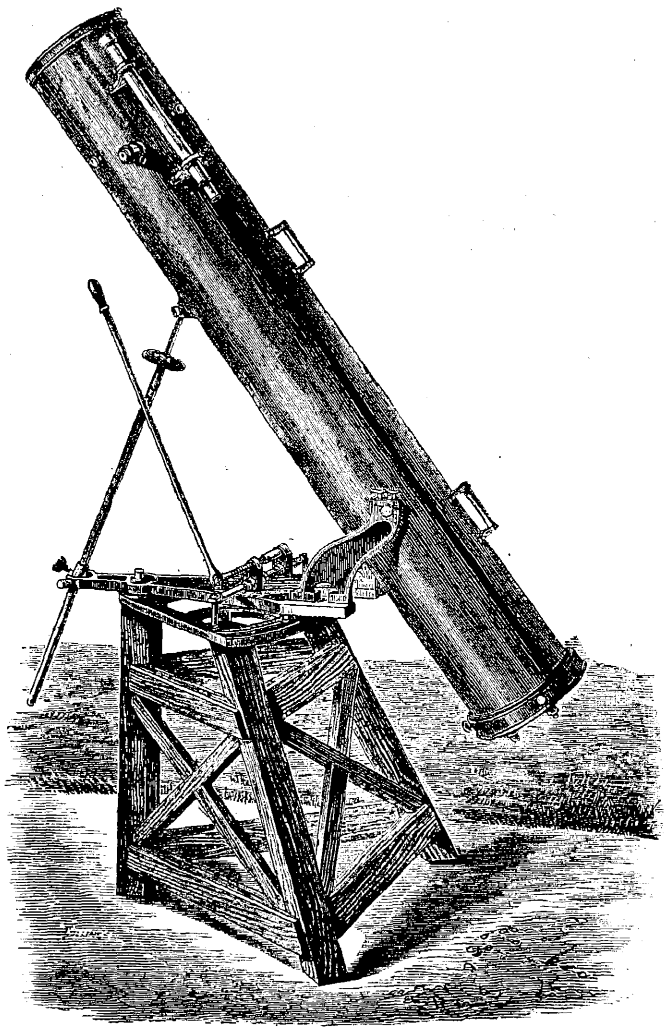


Fig. 1122.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

flektor; auf geradem Pfeilerstumpf ruht eine ganz kurze Stundenaxe, welche den Stundenkreis trägt. Direkt auf der Oberfläche der Kreisplatte sind die beiden Lager für die Deklinationsaxe befestigt, welche auf der einen Seite das Fernrohr, auf der anderen den Deklinationskreis, einen besonderen Klemmkreis und das schwere Gegengewicht für das Fernrohr trägt. Das Fernrohr ist mit der Deklinationsaxe nicht direkt verbunden, sondern an dem starken Bügel ist zunächst eine cylindrische Büchse befestigt, in welcher sich

dann das Fernrohr selbst den oben angegebenen Bedingungen gemäss drehen lässt. Der grosse Spiegel wird im Fernrohr, welches für beide Aufstellungstypen dieselbe Form hat, durch einen dreiarmigen Bügel (ähnlich wie bei HERSCHEL'S kleinem Instrumente) gehalten, welcher mit einem Ringe von der Grösse des Spiegels aus einem Stücke gegossen ist. Drei Schrauben halten

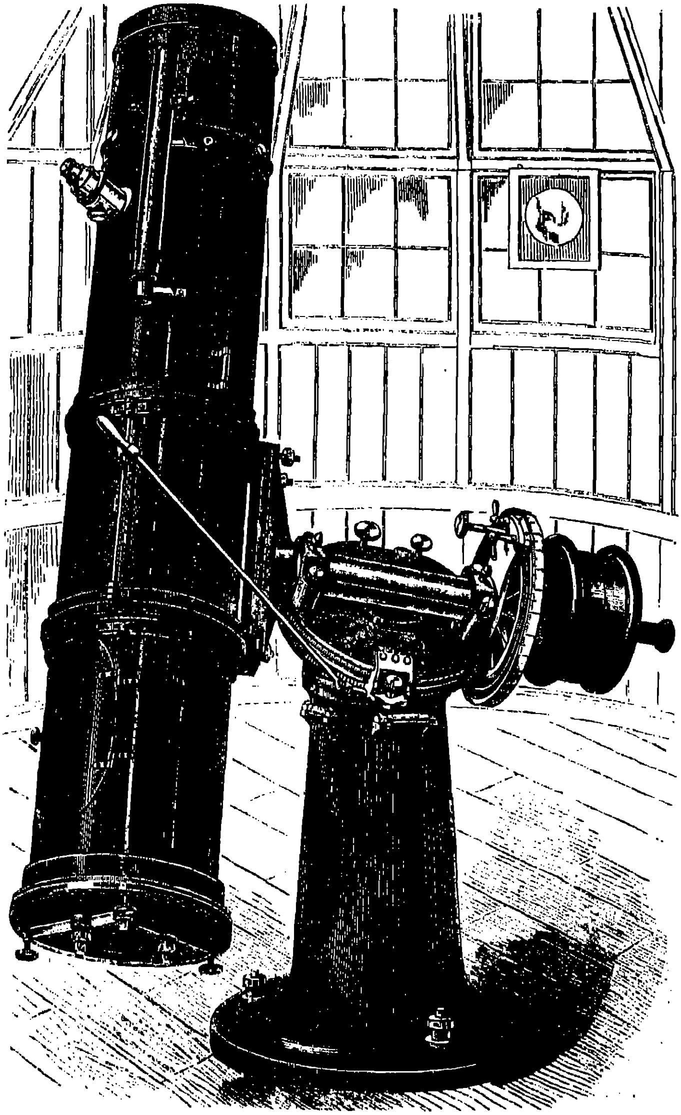


Fig. 1128.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

diesen Ring am Rohrende und drei andere Schrauben drücken den Spiegel gegen einen entsprechend gut abgedrehten Ring im Inneren des Rohres und verhindern zugleich eine Formveränderung in den verschiedenen Lagen des Instruments. Im unteren Theile des Rohres ist eine Klappe, um zu dem Spiegel gelangen zu können; während sich am oberen Theile das Okular, der Sucher

und einige Handhaben zum Drehen des Rohres befinden. Die Schlüssel zur Feinbewegung sind soweit verlängert, dass sie vom Okular aus bequem zu erreichen sind.

Die andere Aufstellung, Fig. 1124, gewährt dem Instrument etwas grössere Bewegungsfreiheit, da die Säule in der Richtung der Stundenaxe geneigt ist und diese in sich aufnimmt. Die Verbindung der Deklinationsaxe mit dem Stundenkreis ist dieselbe, wie bei dem in Fig. 1123 dargestellten Instrument

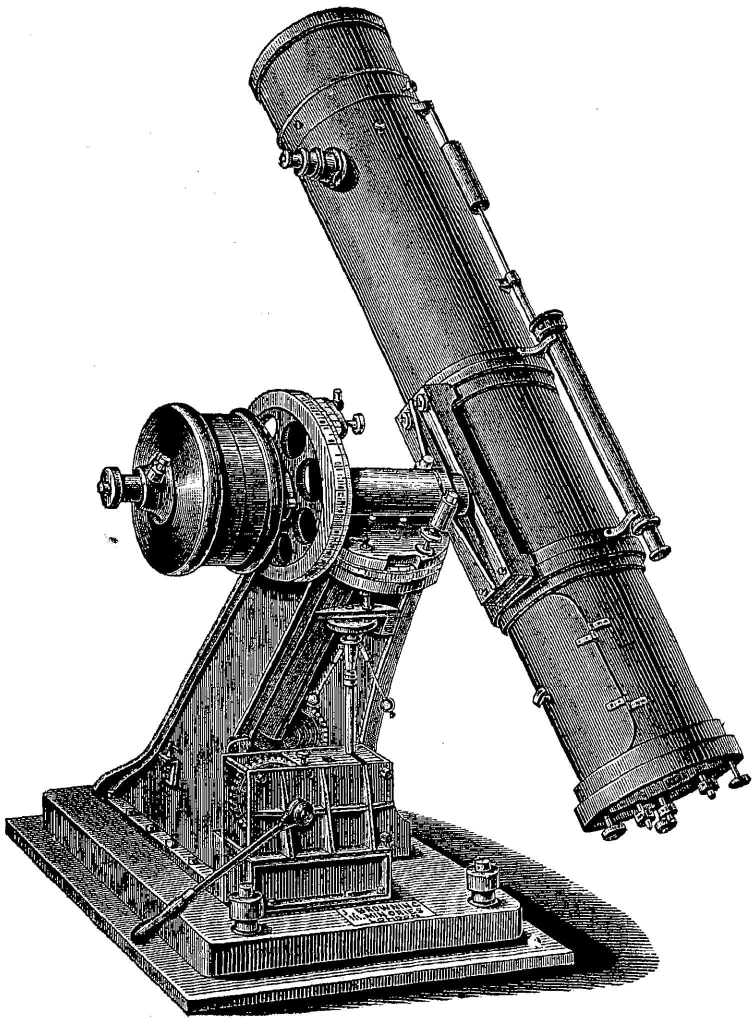


Fig. 1124.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

(auch die übrigen Einrichtungen sind ganz ähnlich angeordnet). Auf gleicher Grundplatte mit der Säule steht ein Uhrwerk, welches das Instrument entsprechend dem täglichen Laufe der Gestirne bewegt. Der letztere Aufstellungstypus scheint mir der zweckmässigere zu sein, und es ist auch bezüglich der Stabilität durchaus kein Bedenken vorhanden, wenn nur die Grundplatte in guter Verbindung mit der schiefen Säule steht und weit genug nach der Polseite verlängert ist, damit die vertikale Projektion des Schwerpunktes der beweg-

lichen Theile noch innerhalb der Fusspunkte dieser Grundplatte fällt. Dasselbe Modell haben auch HORNE & THORNTHWAITE für ihre bekannten Instrumente gewählt.

Eine andere Aufstellung hat diese Firma einigen ihrer Instrumente gegeben, von denen eines die Fig. 1125 zeigt. Ohne weiter auf dessen Beschreibung einzugehen, mag nur erwähnt werden, dass die Bewegung des Fernrohrs in seiner Führungsbüchse durch eine geeignete Radübertragung erheblich erleichtert ist. Die Verbindung des Fernrohrs mit den oberen

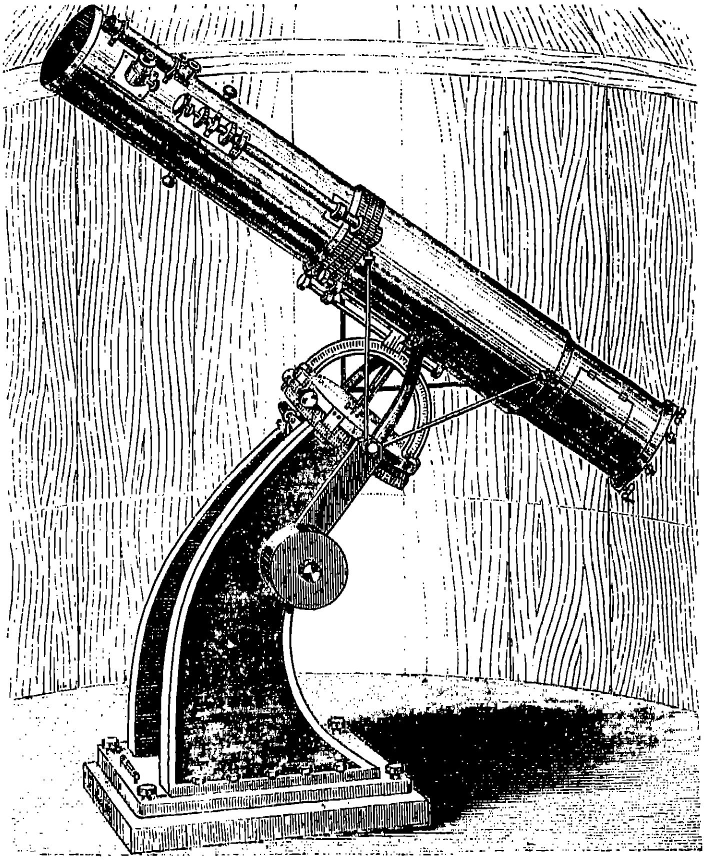


Fig. 1125.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

Theilen der Polaraxe ist eine etwas unstabile, und ebenso dürfte die Ersetzung einer eigentlichen Deklinationsaxe durch Führung in zwei Spitzenschrauben zu Bedenken Anlass geben. So viel mir bekannt, ist diese Montirung auch in letzter Zeit nicht mehr ausgeführt worden.[1])

Die Fig. 1126 zeigt noch die Montirung für Spiegelteleskope nach BAMBERG's Modell. Sie stellt ein seiner Zeit für die „Urania" in Berlin gebautes Instrument mit einem 6zölligen (162 mm) Spiegel dar. BAMBERG glaubt diese Aufstellung aber auch bis zu Fernrohren von 24 Zoll (650 mm) Öffnung an-

[1]) Wie Konkoly mittheilt, ist ein solches Instrument von Janssen Ende der 70er Jahre für Meudon angekauft worden.

wenden zu können. Sie ist azimuthal durchgeführt und soll in der hier dargestellten Form lediglich für Reflektoren dienen, die nur zur Betrachtung leicht auffindbarer Objekte benutzt werden, weshalb sie so einfach wie möglich gehalten ist und keine Kreise beigegeben sind. Es würde jedoch leicht sein, solche an dem Instrument anzubringen.

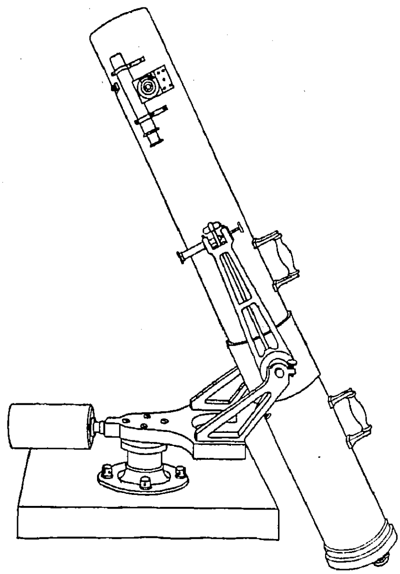


Fig. 1126.

Die Montirung, die GRUBB seinen kleinen Reflektoren giebt, ist oben schon des Näheren erläutert, Fig. 232 u. 233, und es mag hier nur noch erwähnt werden, dass er auch die bei seinen Refraktoren benutzten Aufstellungen zu verwenden pflegt, wie z. B. die Fig. 644, welche einen Grubb'schen Reflektor nach Cassegrain'schem Principe darstellt, erkennen lässt.

2. Das Aequatoreal coudé.

a. M. LOEWY's Anordnung.

Es ist keine Frage, dass für grosse Teleskope die Unterbringung in Räumen mit nach allen Seiten drehbaren Kuppeln mit deren Grösse unverhältnissmässig wachsende Schwierigkeiten darbietet und dass ausserdem auch ein sehr bedeutender Theil der Kosten durch diese Schutzbauten aufgebraucht wird, welcher bei anderer Anordnung der Instrumente den optischen Bestandtheilen derselben zu Gute kommen könnte.[1]) Auch erfordert die Benutzung der grossen Instrumente immer ganz besondere Vorrichtungen, damit dem Beobachter in den verschiedenen Stellungen des Instruments dessen Theile, namentlich das Okular, bequem zugänglich sind. Diese Schwierigkeiten veranlassten Anfang der 80er Jahre M. LOEWY in Paris zur Konstruktion des von ihm als „Aequatoreal coudé" bezeichneten und von GAUTIER gebauten Instruments. Es ist ein Refraktor mit Objektiv von 0,6 m Öffnung, dessen Gesichtslinie durch Zwischenschaltung zweier Planspiegel von 0,86 und 0,73 m Durchmesser bei etwas über 10 cm Dicke so gebrochen wird, dass dieselbe, nicht unähnlich der bei gebrochenen Durchgangsinstrumenten, für alle Stellungen der Objektivtheile gleich gerichtet bleibt. Die Fig. 1127, 1128 u. 1129

[1]) Das vor einigen Jahren für die Berliner Gewerbeausstellung nach den Ideen Archenhold's gebaute Fernrohr ist aus diesem Grunde auch ganz im Freien aufgestellt worden. Ein Schutz für das eigentliche Fernrohr ist dort in Form eines zweiten, weiteren Rohres von gleicher Länge, welches das Erstere mit einem kleinen Zwischenraum umgiebt, geschaffen. Auch ist das Axensystem bei diesem Instrument eigenthümlich angeordnet. Doch kann hier nicht näher darauf eingegangen werden, da mir authentisches Material darüber nicht vorliegt.

zeigen sowohl die Gesammteinrichtungen des grösseren Pariser Instruments, als auch dessen einzelne Theile und innere Anordnung.[1])

Die von einem Gestirne kommenden Strahlen treten durch das Objektiv bei B, Fig. 1128, ein; sie werden zunächst durch Reflexion an einem unter 45° gegen dasselbe geneigten Planspiegel N nach einem zweiten solchen Spiegel M geworfen, welcher sich in dem Würfel V befindet, an dem die beiden einen rechten Winkel mit einander einschliessenden Rohrtheile befestigt sind. Durch nochmalige Reflexion an M erhalten die Lichtstrahlen für alle Stellungen des Objektivs die Richtung parallel zur geometrischen Axe des langen Rohrtheiles, welches parallel der Erdaxe, also nach dem Pole zeigend, um sich

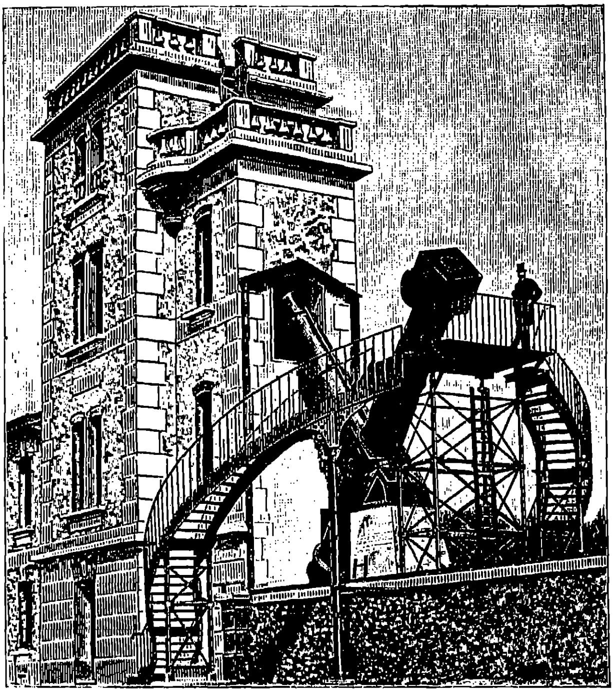


Fig. 1127.

selbst drehbar auf zwei Pfeilern D und G gelagert ist. Am oberen Ende dieses Rohres, welches in ein Gebäude hineinragt, ist das Okular O angebracht. Dieses führt also bei der Beobachtung in verschiedenen Gegenden des Himmels stets nur eine Rotation um seine optische Axe aus, bleibt aber sonst an derselben Stelle und bei geeigneter Einrichtung dem Beobachter in allen Fällen gleich gut zugänglich. Die innere und technische Anordnung des Instruments ist aus der umstehenden Durchschnittszeichnung ersichtlich, es mag dazu nur noch bemerkt werden, dass der zur Endaxe parallele Rohr-

[1]) Im Laufe der Jahre wurden eine grössere Anzahl solcher Instrumente gebaut für Lyon, Toulouse, Nizza, Wien etc.; auch in Paris ist noch ein solches von kleineren Dimensionen aufgestellt, welches zuerst gebaut wurde und in manchen Einzelheiten noch abweicht. Eine gute Abbildung desselben findet sich in Ztschr. f. Instrkde. 1884, S. 138.

theil AO 13 m und der dazu senkrechte MB 5 m Länge hat. Letzterer ist über M hinaus erheblich verlängert und trägt bei P das Gegengewicht für MB und die mit diesem Stücke verbundenen Theile, das Objektiv bei B und den Spiegel N. Unterhalb des Würfels V ist ein stählerner Zapfen für die äquatoreale Lagerung angebracht; er wird durch eine centrale Schraube a geführt und durch ein Rollenpaar zur Verringerung der Reibung bei b gestützt. Die obere Führung erfolgt in dem Lager bei Q, in welchem das Fernrohr mit einem cylindrischen Ringe ruht. Beide Lager ruhen auf gesondert aufgeführten Pfeilern D und G. Das untere ist im Sinne der Polhöhe, das obere

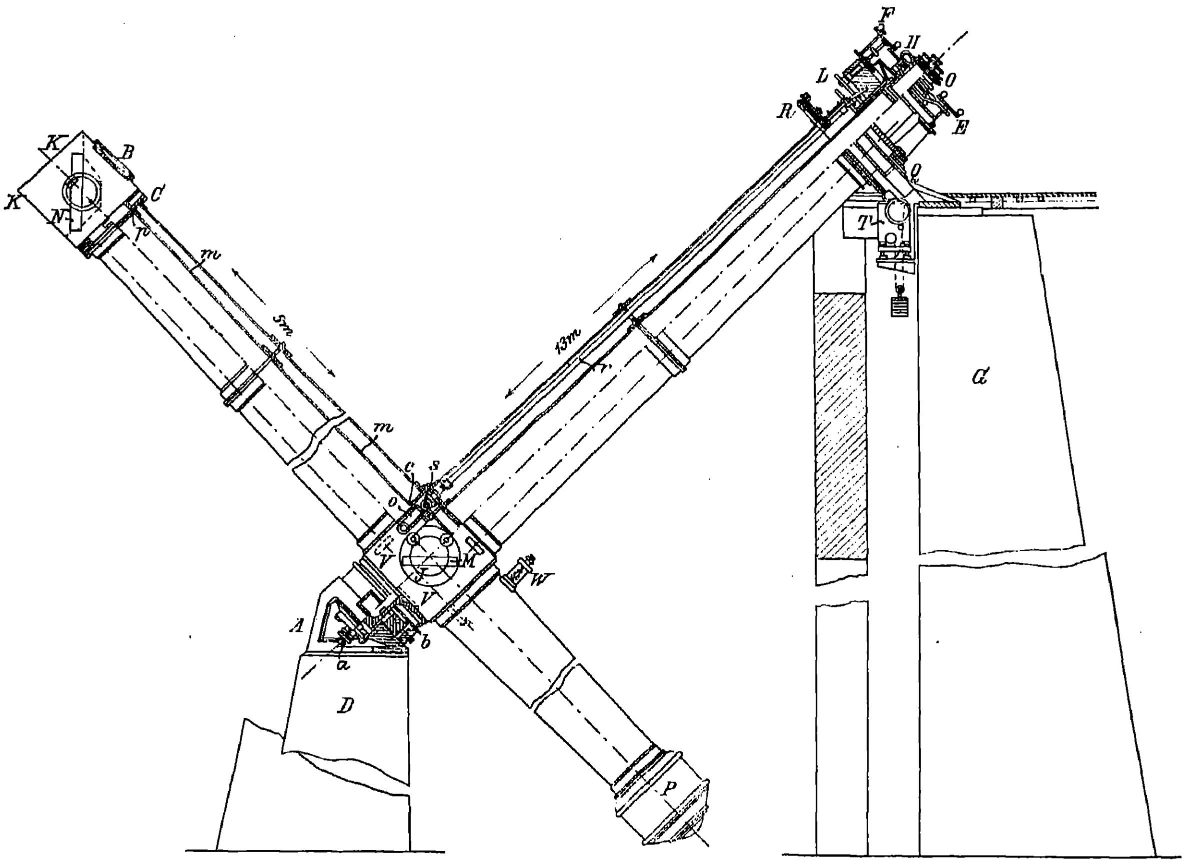


Fig. 1128.

für Ost-West-Verschiebung korrigirbar. Bei der Drehung des Rohrtheiles OM beschreibt also die Axe von BM die Ebene des Äquators; da aber der Würfel KK um die Axe von BM gedreht werden kann, so ist leicht einzusehen, dass durch diese beiden senkrecht zu einander erfolgenden Bewegungen der optischen Axe des Objektivs jede beliebige Richtung im Raume ertheilt, d. h. also jedes Gestirn eingestellt werden kann, sobald es sich über dem Horizont befindet und nicht durch das den Okulartheil und die Beobachtungsräume enthaltende Gebäude verdeckt wird, was aber nur für die cirkumpolaren Gestirne in der Nähe ihrer unteren Kulmination der Fall ist.

Die Bewegungen der einzelnen Theile des Instruments können durch

Gestänge und Schlüssel bewirkt werden, welche vom Sitze des Beobachters aus, ohne dass dieser das Okular verlässt, leicht zu handhaben sind. Durch die Kurbel bei E, rechts unter dem Okular, kann das ganze Instrument um die Polaraxe gedreht werden, indem ein mit dieser Kurbel in Verbindung stehendes Zahnrad in ein anderes eingreift, welches in der Nähe des oberen Lagers das Fernrohr umfasst. In den Uhrkreis bei R greift die Wurmschraube des Uhrwerkes T direkt ein und führt das Instrument nach der Klemmung des Kreises mit. Der Würfel K mit dem Objektiv erhält seine Bewegung vermittelst eines langen Gestänges r, welches in dem Würfel V eine Schraube ohne Ende S dreht; diese greift in einen Zahnkranz ein, der das Ende des Rohres m bildet. Dieses Rohr läuft sowohl bei o als auch bei p in einem Ringlager und trägt oben den Objektivwürfel mit dem Spiegel N. Auf diese Weise ist dessen Bewegung eine sehr sichere und einfach zu bewirkende. Die Drehung des Gestänges r erfolgt durch die Kurbel

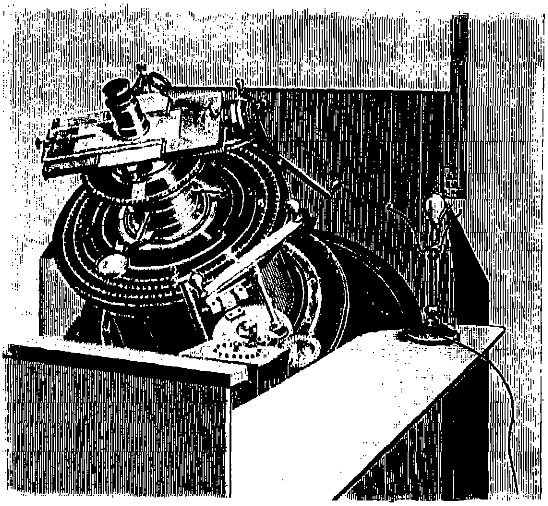


Fig. 1129.

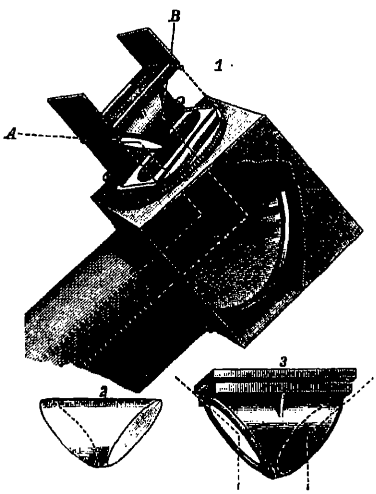


Fig. 1130.

bei F (oberhalb des Okulars). Beide Bewegungen können durch einfache Räderübertragung auf zwei das Okular koncentrisch umgebenden Kreisen bequem abgelesen werden. (Vergl. dazu die Fig. 1129, welche den Okularkopf gesondert darstellt.) Der äussere Kreis ist für die Bewegung in Stundenwinkel, der innere für die in Deklination bestimmt. Der Positionskreis befindet sich direkt unterhalb des Mikrometers. Die Beleuchtung ist für elektrisches Licht eingerichtet und wird durch die Lampe bei W bewirkt. Das erste für visuelle Beobachtungen benutzte Objektiv[1]) wurde neuerdings

[1]) M. Loewy hat das Instrument mehrfach zu Untersuchungen über die Konstanten der Refraktion, Aberration u. s. w. benutzt, indem er vor dem Objektiv zwei reflektirende Ebenen anbrachte, die bei konstantem Neigungswinkel die durch den Einfluss der täglichen Bewegung (durch veränderte Höhe und Stundenwinkel und damit verbundene verschiedene Wirkung von Refraktion und Aberration) bewirkte Änderung in den Richtungen nach beiden Gestirnen leicht und sicher zu messen gestatten. Die reflektirenden Ebenen waren die beiden Flächen eines Prismas, welches vor dem Objektiv in der aus Fig. 1130 ersichtlichen Weise angebracht war.

durch ein anderes, ebenfalls aus den bewährten Händen der Gebrüder HENRY hervorgegangenes, ersetzt, welches besonders für die photographisch wirksamen Strahlen achromatisirt ist. Dementsprechend ist auch das Okulartheil zur Aufnahme einer Kamera eingerichtet worden, wobei besonderer Werth auf gute und sichere Fokusirung gelegt wurde. Die in den letzten Jahren erhaltenen Mondaufnahmen zeigen eine vorzügliche Zeichnung der Details und übertreffen in dieser Beziehung zum Theil die am Lick-Observatorium erhaltenen Platten. Bei dem hier beschriebenen grösseren Instrumente sind auch eine Reihe von Mängeln vermieden, die das kleinere, zuerst gebaute noch besass. Dahin gehört namentlich die Lagerung des unteren Zapfens und die Drehung des Objektivwürfels (früher bewegte sich nur ein kurzes Stück des Rohres mit, jetzt ist das Objektiv, wie erwähnt wurde, auf einem langen, bis zum Mittelwürfel gehenden Rohr befestigt). Die im Freien liegenden Theile des Instruments können durch ein auf Rollen und Schienenweg laufendes leichtes Haus gegen die Unbilden der Witterung geschützt werden.

b. Gebrochenes Äquatoreal in Cambridge.

Vor kurzem erhielt Cambridge (England) ein dem Pariser „Aequatoreal coudé“ in mancher Beziehung ähnliches Instrument, welches die Fig. 1131 nach einer Abbildung in den Monthly Notices, Bd. LIX, Heft 5, S. 152 zur Anschauung bringt. Dieses Instrument wurde schon 1884 von GRUBB in seinen wesentlichen Zügen in Vorschlag gebracht. Ein langes, schweres Rohr ist auf zwei Lagern montirt, eines am unteren, das andere in der Nähe des oberen Endes und zwar so, dass die Rotationsaxe dieses Rohres mit der Polaraxe zusammenfällt. Am unteren Ende trägt es die Deklinationsaxe und um diese Axe dreht sich ein kürzeres, cylindrisches Rohr B, welches das Objektiv bei O enthält. Auf einer mit der Deklinationsaxe koncentrischen Axe ist ein Planspiegel derart befestigt, dass seine Normale stets den Winkel, welchen die Rohre A und B mit einander einschliessen, halbirt. Wenn das Objektiv also nach irgend einem Stern gerichtet ist, wird der von dem Spiegel reflektirte Strahlenkegel das Sternbild immer im Gesichtsfelde des Okulars erzeugen; damit sind sowohl bezüglich der Aufstellung als der Bequemlichkeit

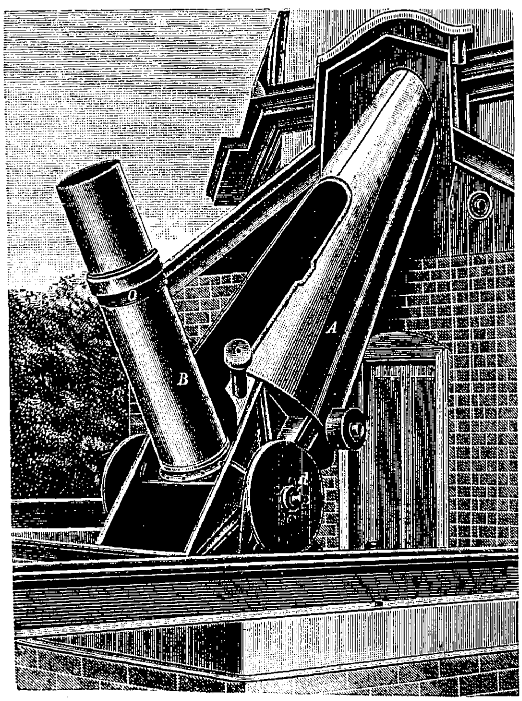


Fig. 1131.

für den Beobachter dieselben Vortheile erreicht, wie bei dem Loewy'schen Äquatoreal, aber nur mit Zuhülfenahme eines einzigen reflektirenden Spiegels. Ausserdem findet die Reflexion an diesem Spiegel für alle Sterne, welche nicht weiter als 90° vom Pole abstehen, unter einem günstigeren Winkel statt, als bei dem Aequatoreal coudé. Dagegen aber ist, wie die Konstruktion des Instruments sofort erkennen lässt, eine erhebliche Zone in der Nähe des Poles in demselben nicht zu sehen, da dann die beiden Rohre in einander klappen und abgesehen von den Beobachtungsräumen auch der Strahlengang vom Objektiv zum Spiegel und vom Spiegel zum Okular durch Rohrtheile abgeschnitten wird, selbst dann noch, wenn, wie es hier schon geschehen, erhebliche Theile dieser Rohre ausgeschnitten werden. Die automatische Bewegung des Spiegels um den halben Betrag desjenigen des Objektivrohres wird durch zwei Scheiben bewirkt, von denen eine auf der Deklinationsaxe und die zweite auf der Axe des Spiegels befestigt ist; die letztere hat einen nur halb so grossen Durchmesser als die erstere, und auf beiden wickelt sich ein gespanntes Stahlband wechselweise ab.

Das Instrument soll zu photographischen Aufnahmen dienen und bietet dabei, im Gegensatze zur Benutzung eines Heliostaten, den Vortheil, dass während einer langen Expositionszeit sich für den Spiegel der Incidenzwinkel der Strahlen nicht ändert.[1])

3. Bahnsucher von Repsold und besondere Arten der Montirung für Kometensucher etc.

a. Bahnsucher (Orbitsweeper AIRY's).

Wie auf Seite 303 schon bei Gelegenheit der verschiedenen Axenkonstruktionen erwähnt wurde, hat man auch Instrumente konstruirt, bei denen die Gesichtslinie des Fernrohres weder Kreise gleicher Höhe oder gleicher Azimuthe beschreibt, noch allein der täglichen Bewegung der Gestirne folgt, sondern durch Hinzufügen einer dritten Axe zu der im übrigen parallaktischen Montirung von derselben ein beliebiger „Grösster Kreis“ am Himmel beschrieben werden kann. Das Princip eines solchen Instruments ist von G. B. AIRY angegeben worden; dasselbe sollte dazu dienen, kleine Planeten oder Kometen, deren Orte in ihrer Bahn nur mit wenig Sicherheit angegeben werden können, z. B. bei der ersten Aufsuchung solcher Objekte nach vorhandenen älteren Ephemeriden, leichter zu finden, da man das Fernrohr durch die angedeutete Einrichtung immer in der vermuthlichen Bahnebene halten kann. Die von REPSOLD einem solchen in den 70er Jahren für die Strassburger Sternwarte

[1]) Nach Abschluss dieses Abschnittes ist von Prof. L. Schupmann in Aachen ein Vorschlag zu einer neuen Fernrohrgattung gemacht worden, welche er mit dem Namen „Medial-Fernrohr“ bezeichnet und in welchem das Bild z. Th. auf dioptrischem, z. Th. auf katoptrischem Wege zu Stande kommt. Der Erfinder zeigt, dass bei geeigneter Wahl der einzelnen Theile eine sehr gute Bildbeschaffenheit erlangt werden kann. Näher auf dieses Instrument hier noch einzugehen, ist nicht möglich, auch unterliegt die Konstruktion gegenwärtig noch erheblichen Verbesserungen. Ich verweise dieserhalb auf das Original: Die Medialfernrohre. Eine neue Konstruktion für grosse astronomische Instrumente von L. Schupmann. Leipzig 1899.

gebauten Instrumente dieser Art gegebene Form ist in den Fig. 1132 u. 1133 dargestellt. Es ist ein 6zölliges Fernrohr von verhältnissmässig grosser Brennweite; dasselbe ist auf einem Stativ 1 montirt, welches eine in Polhöhe verstellbare Stundenaxe der gewöhnlichen Repsold'schen Form für Instrumente dieser Grösse besitzt. Auch die Deklinationsaxe 2 weist keine Besonderheit auf, aber an dem Ende dieser Axe ist das Fernrohr 3 nicht wie gewöhnlich in einer sogenannten Wiege befestigt, sondern dieselbe trägt zunächst einen dem Klemmarm 4 ähnlich geformten zweiten, aber stärkeren Bügel 5, welcher dicht neben jenem am Axenende befestigt ist. Dieser endet

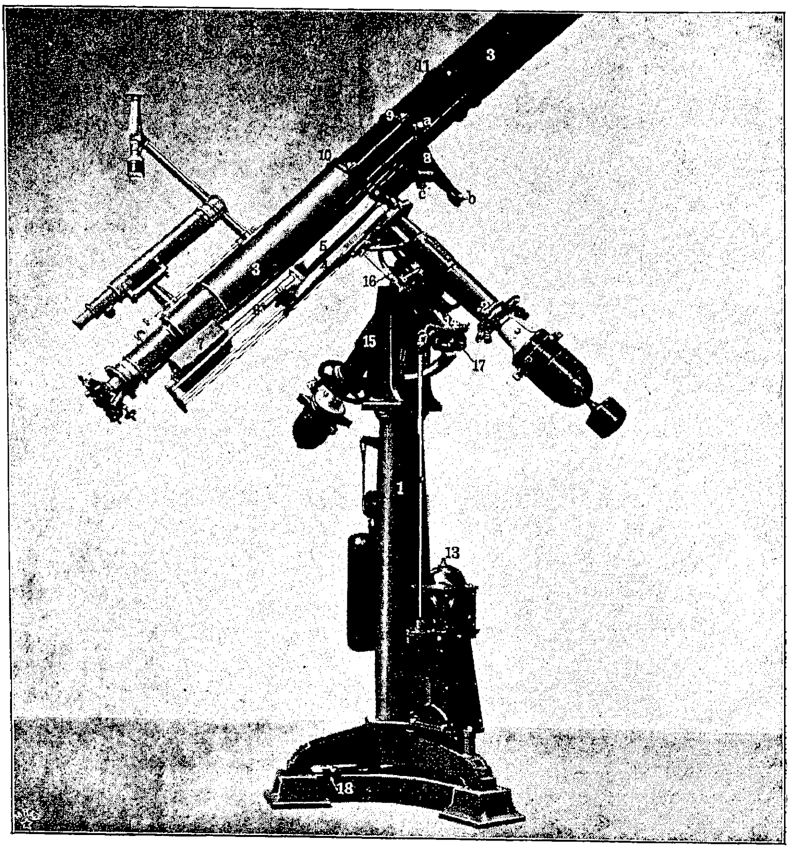


Fig. 1132.

auf der einen Seite in eine Stange 6, welche das Gegengewicht 7 für das Fernrohr trägt; auf der anderen Seite aber ist ein starker Dreiarm 8 derart angebracht, dass die drei Punkte a, b, c in einer zur Richtung 7, 8 senkrechten Ebene liegen. An zweien dieser Punkte, a und c, sind starke Spitzenschrauben so angebracht, dass sie bei entsprechendem Eingreifen in Bohrungen des Ringes 9 dem Fernrohr als eine dritte Axe dienen, um welche dieses ebenfalls bewegt werden kann. In Fig. 1132 ist das Fernrohr so gestellt, dass seine Absehenslinie dem Bügel 5 parallel läuft, also senkrecht zur Deklinationsaxe steht, wie es bei einem gewöhnlichen Äquatoreal der Fall ist.

In Fig. 1133 jedoch ist das Fernrohr um die Axe a, c so gedreht, dass es sich in einer Büchse des Dreiarmes 8 um das obere Ende des Bügels 5 in einer zu diesem senkrechten, also einer der Deklinationsaxe parallel bleibenden Ebene drehen kann. Im ersteren Fall wird das Fernrohr noch mittelst zweier Schrauben an dem Ringe 10 befestigt, im zweiten Falle mittelst einer starken Klammer 12 an dem dasselbe bei 11 umgebenden dritten Ringe.

Ist dem Fernrohr die in Fig. 1133 gezeichnete Lage gegeben, so kann es sich also erstens um die Stundenaxe, zweitens um die Deklinationsaxe und drittens um eine Axe senkrecht zu letzterer bewegen. Wird es in Deklination geklemmt, so beschreibt seine Absehenslinie, wie leicht einzusehen ist

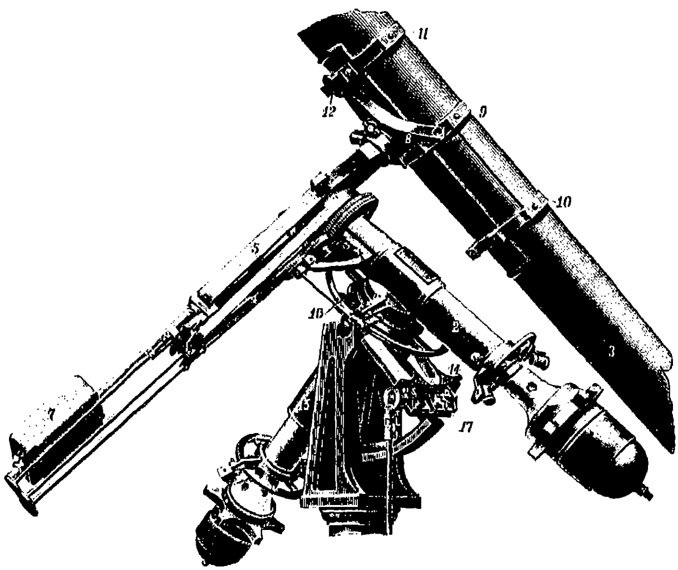


Fig. 1133.

und oben erläutert wurde, bei Drehung um die in der Richtung 5—7 liegende Axe einen beliebigen „Grössten Kreis", dessen Neigung gegen den Parallel durch verschiedene Einstellung in Deklination beliebig variirt, also der Neigung der Bahnebene eines Himmelskörpers gegen die Äquatorebene gleich gemacht werden kann.

Aus Fig. 1132 ist ausserdem noch zu ersehen, wie bei diesen kleineren Instrumenten das Uhrwerk 13 von Repsold angebracht und auf welche Weise durch dasselbe mit Hülfe des Sektors 14 dem Fernrohr die äquatoreale Bewegung ertheilt wird. Der Sektor 14 ist frei beweglich auf der Stundenaxe 15 und kann an dieselbe bei 16 angeklemmt werden; die Schraube bei 17 dient zum Ein- und Ausschalten der Wurmschraube und regelt ihren Eingriff. Die Räderübertragungen für die Feinbewegung in Deklination und Stundenwinkel sind ebenfalls in dieser Figur gut zu übersehen. Die Schraube bei 18 dient zur Korrektur des Azimuths des Axensystems.

b. Montirungen, bei denen das Fernrohr-Okular im ideellen Durchschnittspunkt der beiden Axen liegt (Kometensucher).

Es ist für manche Beobachtungen sehr erwünscht, wenn der Beobachter für alle Richtungen des Fernrohrs an demselben Platze bleiben kann, z. B. wenn es für die Natur der Beobachtung erforderlich ist, ein grösseres Kartenmaterial, Zeichnungen oder Einrichtungen zur Anfertigung solcher immer unmittelbar zur Hand zu haben. Das lässt sich auf den in verschiedenster Weise konstruirten Leitern und beweglichen Beobachtungsstühlen und Treppen nicht bewerkstelligen, da diese leicht und wenig umfangreich gebaut sein müssen, wenn man mit ihnen den Bewegungen des Instruments bequem folgen will. Deshalb haben schon verschiedene Astronomen besonders für Kometensucher Aufstellungen angegeben, bei denen für alle Lagen des Fernrohrs dessen Okular an derselben Stelle bleibt. Das kann einfach dadurch geschehen, dass man dieses in den Durchschnittspunkt der Axen der Montirung verlegt, einerlei, ob diese in äquatorealer oder azimuthaler Weise erfolgt.[1]) Ein solches Instrument mit äquatorealer Montirung ist im Jahre 1879 auf Veranlassung von Professor E. WEISS von E. SCHNEIDER in Wien für die dortige neue Sternwarte ausgeführt worden. Die Fig. 1134 stellt dasselbe dar, und der Verfertiger beschreibt es selbst etwa folgendermassen:[2])

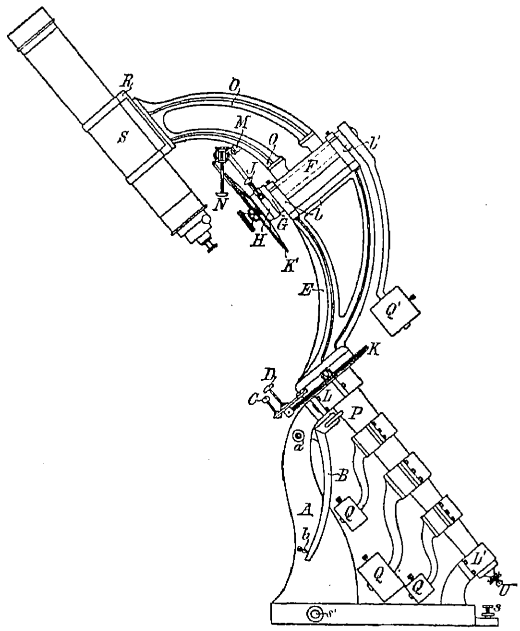


Fig. 1134.

An dem gusseisernen Gestell A sind die Lager L, L′ für die Polaraxe P befestigt. Das Lager L trägt einen Stundenkreis K von 48 cm Durchmesser. An der Polaraxe ist ein starker Eisenbügel E befestigt, welcher die beiden Lager l, l′ für die Deklinationsaxe trägt; diese ist mit zwei starken Ansätzen versehen, an welche ein zweiter Bügel O, O angeschraubt ist, und an einer der Polaraxe parallelen Ebene dieses Bügels ist die Platte R mit den beiden das Fernrohr nahe seiner Mitte haltenden Spangen befestigt. Diese Befestigung ist sicherer als die in der Nähe des Okulars, wie sie VILLARCEAU

[1]) Eine Einrichtung der ersteren Art hat zuerst Villarceau (Mémoires de l'Observatoire de Paris, Bd. IX) und später auch Le Verrier (Carl, Repert. d. Exp.-Phys., Bd. 3) angegeben. Die Anordnung einer solchen Aufstellung, wie sie nach Le Verrier's Vorschlag von Sécretan in Paris für das Observatorium in Marseille ausgeführt wurde, gebe ich in Fig. 1135, ohne hier näher auf die weitere Beschreibung einzugehen.

[2]) Carl, Repert. d. Exp.-Phys., Bd. 16, S. 681.

vorgeschlagen hat. Das Fernrohr ist ein Merz'scher Kometensucher von 6 Zoll Öffnung bei $4^1/_2$ Fuss Brennweite. Mit dem Stundenkreis ist direkt die Klemmung und Feinbewegung (Schraube ohne Ende, mittelst Excenter C aus- und einrückbar) verbunden. Am Deklinationslager 1 ist die Büchse G angebracht, welche den Deklinationskreis von 48 cm Durchmesser und auf 30″ ablesbar trägt; ebenso ist an ihr die Klemmung in Deklination befestigt. Das Fernrohr wird durch das Gewicht Q′ balancirt. Dem ganzen um die Polaraxe beweglichen System wird durch die Gewichte Q, Q das Gleichgewicht gehalten. Da diese Massen zusammen nahe 1000 kg wiegen, musste der Lagerdruck der Polaraxe nach Möglichkeit vermindert werden; es geschieht dieses durch den Hebel B, welcher an seinem oberen Ende zwei Rollen trägt, sich bei a auf eine horizontale Axe stützt und bei b in seiner Wirkung durch eine Schraube korrigirt werden kann.

Ein Kometensucher von nahe gleichen Dimensionen wurde auf Professor WINNECKE's Wunsch von REPSOLD mit gleicher Bedingung für die Stellung des Okulars, aber nach azimuthalem System konstruirt.[1])

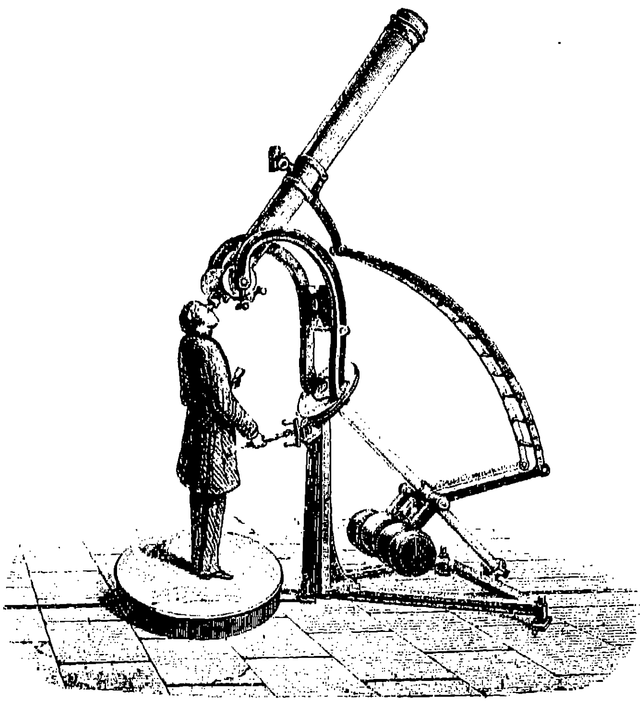


Fig. 1135.
(Nach Konkoly, Anleitung.)

Die Einrichtung desselben zeichnet sich durch besondere Einfachheit aus; sie ist in Fig. 1136 dargestellt. In einer, auf einem wagenähnlichen Gestelle (in der Figur weggelassen) befestigten starken Axbüchse 1 ist der ganze Stuhl mittelst des Rades 2 und der Handscheibe 3 leicht um eine vertikale Axe drehbar. Das Fernrohr ist in einem Rahmen 4, 4 montirt, welcher sich um zwei durch die Wangen der Rücklehne des Stuhles gehende Bolzen 5, 5, die die Stelle einer Horizontalaxe vertreten, bewegen lässt. Diese Bewegung kann vom Beobachter mit der linken Hand durch das Handrad 6 und das Zahnrad 7 leicht bewirkt werden, indem auf dem Rade 7 ein Zapfen bei 8 angebracht ist, der in die Leiste 9 eingreift und diese auf und ab bewegt.

[1]) Nach gleichem System sind später noch einige ähnliche Instrumente ausgeführt worden, unter anderen für Dr. Hartwig in Bamberg, welcher damit seine am Strassburger Instrument begonnenen ausgedehnten Beobachtungsreihen veränderlicher Sterne weiter führt.

Dadurch wird auch dem Rahmen 4, an welchem bei 10 ein ähnlicher Zapfen angebracht ist, in höchst einfacher Weise eine verschiedene Neigung zum Horizont ertheilt. Nahe dem Durchschnittspunkt beider Axen liegt das Fernrohrokular. Das Gewicht 11 dient zur Ausbalancirung des Fernrohres. Die ganze Einrichtung hat sich vorzüglich bewährt.

4. Beobachtungsstühle und Treppen.

Wie schon mehrfach erwähnt, ist es namentlich bei den grossen Instrumenten nicht ohne Belang für die Güte der Beobachtungen, dass dem Astronomen möglichst zweckmässige Treppen, Beobachtungsstühle und Leitern, mit denen er den Änderungen in der Stellung des Okulars des Instruments leicht und gefahrlos folgen kann, zur Verfügung stehen. Eine grosse

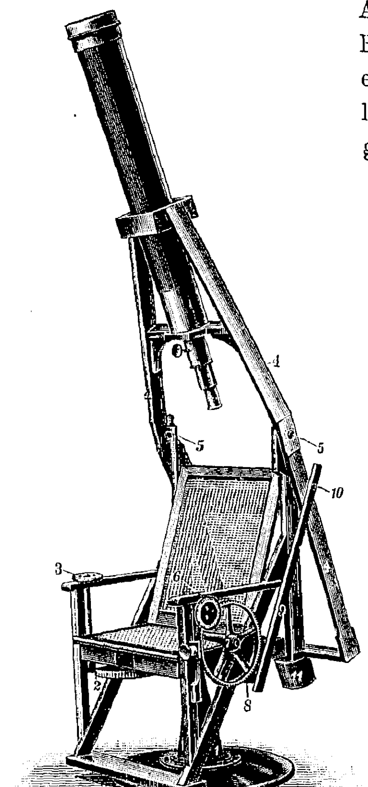


Fig. 1136.

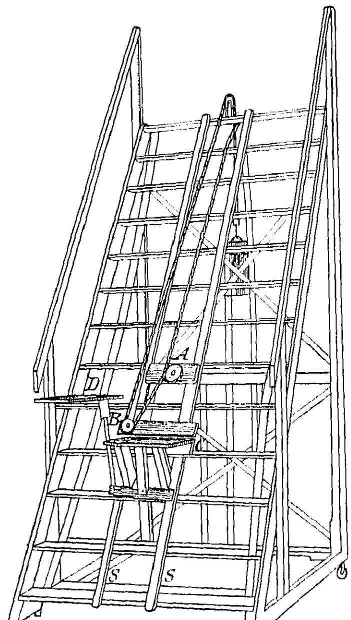


Fig. 1137.

Anzahl solcher Hülfsmittel sind, den besonderen Zwecken angepasst, konstruirt worden. Es kann hier nicht der Platz sein, dieselben in ausführlicher Weise abzubilden und zu besprechen, sondern ich muss mich auf einige wenige Typen dieser Einrichtungen beschränken und verweise zugleich auf die verschiedenen früher gegebenen Darstellungen der grossen Refraktoren und Reflektoren, welche mehrfach in ihren Aufstellungsräumen abgebildet sind, sodass dort auch die Beobachtungsstühle und Treppen mit zur Darstellung gelangt sind. Ich bin gewiss weit davon entfernt, solchen Beobachtungssitzen und Leitern eine zu hohe Bedeutung beizumessen oder besonders komplicirten Einrichtungen das Wort zu reden, aber wenn es gilt, stundenlang genaue

Messungen an grossen Instrumenten auszuführen, so ist zuletzt doch die eintretende Ermüdung für die Güte des Resultates von Belang, und es ist Pflicht des Astronomen, durch bequeme Stellung des Körpers diese so lange als möglich fernzuhalten. Damit ist natürlich auch noch keine Norm für die Bauart eines solchen Beobachtungsstuhles gegeben, denn was dem einen Beobachter bequem ist, belästigt den anderen. Auch ist zu beachten, dass solche Treppen u. s. w. immer einen erheblichen Platz im Beobachtungsraume

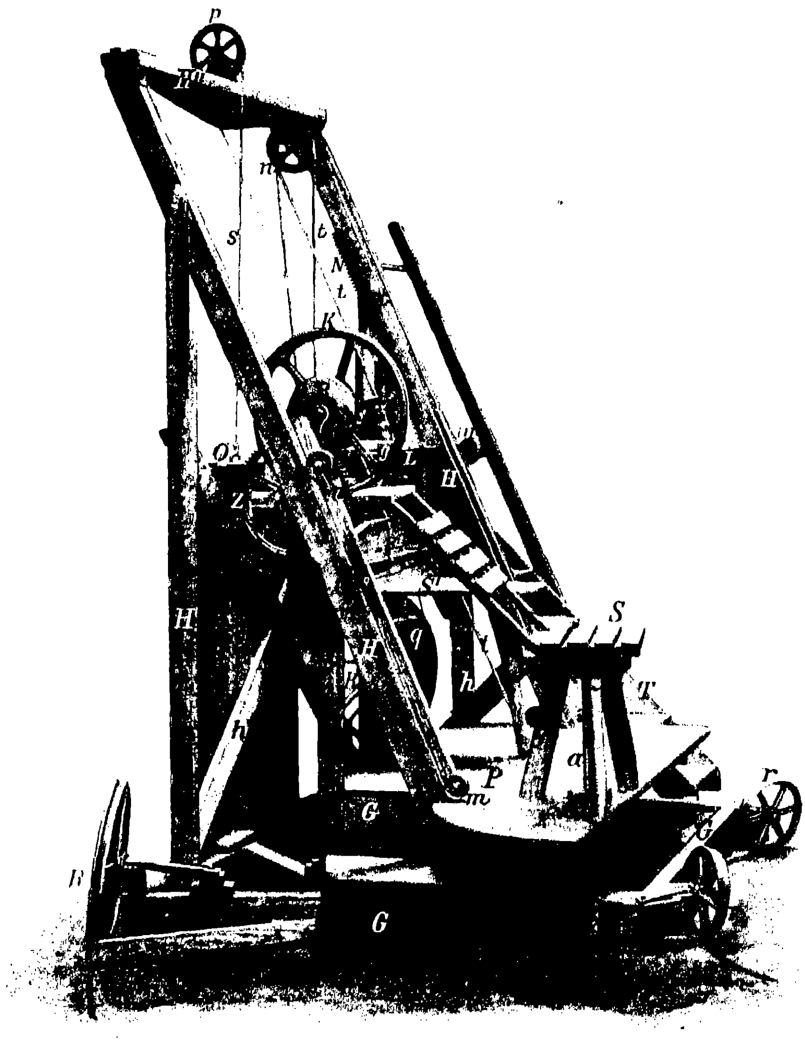


Fig. 1138.

beanspruchen und dass sie nachts nicht zu Hindernissen der freien Bewegung des Beobachters werden dürfen, ebenso wenig wie die etwa nöthigen Schienen, auf denen sich die Treppen bewegen müssen, zum Stolpern und Fallen Veranlassung geben dürfen. Aus letzterem Grunde hat man schon versucht, die Treppen mit der drehbaren Kuppel zu verbinden und so alle Führungs-

schienen überflüssig zu machen.[1]) Es wird damit zugleich erreicht, dass die Treppe bei jeder Ortsänderung des Okulars auch mit der dadurch bedingten Drehung der Kuppel, wie leicht einzusehen, wieder von selbst in die richtige Stellung gelangt, wenn sie etwa diametral dem Spalte gegenüber angebracht wird.

Einfache Trittleitern, die in jeder Sternwarte nach Bedürfniss zu finden sein werden, brauchen hier wohl kaum näher beschrieben zu werden; ich möchte hier nur die Einrichtung einiger Beobachtungsstühle erläutern, welche von etwas komplicirterer Konstruktion, aber trotzdem sehr bequem sind.

Fig. 1137 stellt einen solchen dar, wie er so oder ganz ähnlich auf amerikanischen Sternwarten benutzt wird. Eine breite Treppe mit seitlichen Geländern ist an zweien ihrer Füsse mit Rollen versehen, die auch um eine vertikale Axe drehbar sind; die beiden anderen sind ohne solche Rollen, sodass nach Heben an dieser Seite ein leichter Transport nach jeder Richtung möglich ist, und später doch ein sicherer Stand gewährt wird.[2]) Der Sitz, mit dem seitlich ein kleines Pult verbunden ist, gleitet auf zwei Leisten S, S längs der Treppe und wird durch ein Gewicht W mit dem Beobachter zugleich balancirt. Ein Schnurlauf, welcher über die Rollen bei A und B gleitet, gestattet dem Beobachter durch Zug nach oben oder unten sich mit seinem Sitze in eine höhere oder tiefere Stellung zu bringen.

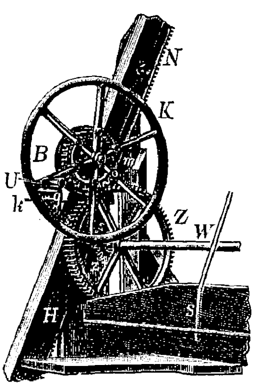


Fig. 1139.

Wesentlich besser ausgebildet ist diese Idee bei dem in Fig. 1138 dargestellten Beobachtungsstuhl Repsold'schen Modells.[3]) Auf einem trapezförmigen Rahmen G aus starken Balken, mit dem die 4 Räder R, R und r, r verbunden sind, erheben sich in etwas geneigter Richtung die beiden Pfosten H, H, welche oben durch das Querstück H″ verbunden sind und durch die Streben H′ und h gestützt werden. An diesen Pfosten gleitet die Bühne P, auf dem Gestelle G h, durch die Rollen m, m geführt. Auf derselben befindet sich ein um eine vertikale Axe a drehbarer Stuhl S mit bequemer Lehne für Beobachtungen in geringen Zenithdistanzen; weiterhin ist der Klappsitz S′ an einem der Stege angebracht. Dieser ist in allen Lagen in angemessener Entfernung vom Okular[4]) und kann für Beobachtungen in sehr geringer Höhe zurückgeschlagen werden, um dann Raum zum Stehen zu gewähren. Eine Treppe T erlaubt für jede Höhe die Plattform P bequem zu erreichen; dieselbe wird mit allen auf ihr befindlichen Dingen, unter denen auch ein kleines

[1]) Bei den grossen Reflektoren Newton'scher Konstruktion hat man mehrfach den Sitz des Beobachters direkt mit dem Okulartheil verbunden, sodass dieser frei in Lüften schwebend den Bewegungen des Fernrohres folgt.

[2]) Diese Art der Sicherung der Stellung ist derjenigen, bei der die Wirkung der Rollen durch niedergeschraubte Ständer bewirkt wird, meiner Meinung nach vorzuziehen.

[3]) Schon in den 70er Jahren sind von Repsold ganz ähnliche Stühle gebaut worden, z. B. für die Hamburger Sternwarte.

[4]) Bei grossen Instrumenten bilden die Führung der Bühne sogar gebogene Pfosten, damit der Beobachter der Stellung des Okulars besser folgen kann.

Pult L mit Schublade für Okulare etc. zu erwähnen ist,[1]) durch ein an dem Drahtseil s, s hängendes Gewicht Q balancirt. Die Bewegung der Plattform auf- und abwärts erfolgt durch das Rad K, welches durch die Kurbel U, Fig. 1139, vom Sitze des Beobachters aus gedreht werden kann. Auf gleicher Welle mit dem Rade K sitzt ein Zahnrad und eine Bremsscheibe B, um welche ein Stahlband gelegt ist, dessen beide Enden an einem Hebel befestigt sind und mittelst Druck durch das Gewicht g straff gehalten werden. Dadurch wird das Rad K in jeder ihm gegebenen Stellung festgehalten; wird der Hebel gehoben, so hört die Bremsung auf und die Plattform rutscht abwärts. Das Zahnrad wird bei Rechtsdrehen durch einen Sperrkegel mitgenommen und greift in das Rad Z; dieses trägt auf der durch die ganze Breite des Stuhles gehenden Welle W zwei Triebe z, welche in Zahnstangen N N an den Rückseiten der Pfosten eingreifen.

Die Bewegung des ganzen Beobachtungsstuhles um das Instrument herum erfolgt auf Schienen, von denen die äussere von quadratischem Querschnitt ist und in Nuthen der Räder R eingreift. Ein Seil t, t ist über eine Reihe von Rollen n geleitet und läuft ausserdem noch über eine Seilscheibe, welche mit dem in der Figur nur zum kleinsten Theile sichtbaren Rade R auf einer Axe sitzt. Durch Ziehen an diesem Seil kann der Beobachter den ganzen Stuhl im Kreise um das Instrument herum bewegen; das Seil wird stets gespannt gehalten durch ein eingehängtes Gewicht q. Dieser Beobachtungsstuhl hat sich, soweit mir bekannt, überall sehr gut bewährt.

Auch bei Meridianbeobachtungen ist es wünschenswerth, einen bequemen, den verschiedenen Kopflagen besonders anzupassenden Sitz, der sich leicht bewegen lassen muss, zur Verfügung zu haben. Ich verweise dieserhalb aber auf die Figuren 833 und 933, in denen solche Stühle von zweckmässiger Form mit abgebildet sind, und möchte zum Schlusse nur noch darauf hinweisen, dass bei allen Beobachtungsstühlen, mögen sie für grosse Teleskope oder für Meridianbeobachtungen dienen, immer besonderes Augenmerk darauf gerichtet werden sollte, dass für keine Lage des Instruments sowohl als auch der beweglichen Theile der Beobachtungsstühle die letzteren der freien Bewegung des ersteren hinderlich sein dürfen, sodass auch selbst bei Unachtsamkeit keine Beschädigung des Instruments stattfinden kann, denn die meisten Beobachtungen werden natürlich immer in ziemlich dunklen Räumen angestellt werden.

5. Kurze Bemerkungen über die Berichtigung eines parallaktischen Instruments und die Bestimmung der Aufstellungsfehler.

In der Gegenwart dienen die parallaktischen Instrumente nicht mehr zu absoluten Beobachtungen oder zu solchen, bei denen die Axen und Kreise ihrer genauen Lage und ihrer Normalpunkte nach zur Anwendung kommen,

[1]) In Göttingen ist auf diesem Pult auch ein elektrisches Zifferblatt angebracht, von dem die Leitungen durch eine Litze nach den Axen der Räder R und r und durch diese und die Schienen nach der Hauptuhr gehen, so dass für jede Stellung des Stuhles und der Plattform Verbindung da ist.

sondern die Kreise werden nur noch zur leichten und sicheren Auffindung des Gestirnes benutzt, und die äquatoreale Aufstellung bietet nur den grossen Vortheil, dass man das Gestirn bei seiner täglichen Bewegung im Gesichtsfeld halten kann. Aus diesem Grunde ist es auch selten nöthig, die Aufstellungsfehler mit der Schärfe kennen zu lernen, welche man z. B. bei der Ermittelung derjenigen der Durchgangsinstrumente zu erreichen bestrebt sein muss. Zunächst sind die Axen und das Fernrohr vom Mechaniker schon immer so genau im rechten Winkel zu einander gestellt, dass von Korrekturen zwischen diesen Theilen, die nur die Stabilität beeinträchtigen würden, abgesehen werden kann. Die geringen übrig bleibenden Abweichungen lassen sich auf einfache Weise durch die Beobachtung geeigneter Gestirne bestimmen, sind aber meist von so geringem Betrage, dass sie bei der Auswerthung der Mikrometerbeobachtungen nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen. Von grösserer Bedeutung sind schon diejenigen Fehler, welche durch die Einwirkungen der Schwere auf die einzelnen Instrumententheile hervorgebracht werden, also die Biegung der Axen des Fernrohres und die Drehung des letzteren um eine seiner optischen Axe parallele Richtung.[1]) Am wichtigsten sind aber die eigentlichen Aufstellungsfehler, d. h. die Abweichungen der Polaraxe von der Richtung nach dem Himmelspol.[2]) Abgesehen davon, dass der Bau des Instruments schon der Polhöhe des Beobachtungsortes angepasst sein muss, oder von vorne herein für verschiedene Breiten eingerichtet ist, ist jedes Instrument auch noch mit Korrektionseinrichtung versehen, mittelst deren man die Polaxe sowohl bezüglich ihrer Neigung zum Horizont, als auch bezüglich ihrer Stellung zur Meridianebene berichtigen kann. Zunächst wird es immer leicht sein, diese Ebene genähert zu bestimmen und die Stundenaxe nahezu in dieselbe zu stellen: ebenso wird dieses bezüglich der Neigung derselben einigermassen der Fall sein. Richtet man dann das Fernrohr so, dass die Deklinationsaxe sehr nahe horizontal steht, was sich unter Umständen durch eine Libelle kontroliren lässt, und beobachtet bei gehöriger Höhenstellung die Sternzeit des Durchgangs eines bekannten Gestirnes durch den mittleren Vertikalfaden, so wird der Unterschied dieser Zeit gegen die Rektascension des Gestirnes einen Anhalt für die noch auszuführende Korrektion geben, resp. ist dieser Unterschied sehr nahe gleich Null, so wird die Polaraxe sich mit genügender Schärfe im Meridian befinden. Dreht man nun die Deklinationsaxe so weit, dass dieselbe in einer vertikalen Ebene (der Meridianebene) liegt, so wird das Fernrohr, falls die Polaraxe die richtige Neigung hat, den Sechsstundenkreis bei einer Drehung um die Deklinationsaxe beschreiben. Beobachtet man also jetzt wieder ein dem Pole möglichst nahes Gestirn von bekannter Rektascension bei seinem Durchgang durch den Mittelfaden des Fernrohrs, so wird die Sternzeit dieses Durchgangs verglichen mit der um 6 Stunden (90^0) ver-

---

[1]) Vergl. die betreffende Bemerkung bei den Heliometern über die dort mit μ bezeichnete Konstante.

[2]) Die Bestimmung dieser Fehler von Zeit zu Zeit gewährt dann auch ein Urtheil über die Sicherheit der Aufstellung, d. h. die Güte der Pfeilerbauten etc. — Zur steten Kontrole bringt man auch wohl Libellen an den Säulen der Instrumente an.

mehrten oder verminderten Rektascension des Gestirns wiederum zur Korrektur der Neigung der Stundenaxe dienen können; erst wenn nach wiederholter Korrektur und Beobachtung geeigneter Sterne sowohl im Osten als im Westen des Meridians, die Differenz beider Zeitangaben sehr klein geworden ist, darf man das Instrument als für mikrometrische oder ähnliche Beobachtungen als genügend berichtigt ansehen. Auf alle Fälle ist es aber dann erlaubt, die etwa noch vorhandenen Aufstellungsfehler als kleine Winkel anzusehen, für welche man in den strengen sphärischen Formeln (bezüglich deren ich hier auf die Lehrbücher der sphärischen Astronomie verweisen muss) deren Cosinus der Einheit und deren Sinus dem Bogen gleich setzen darf. Sowohl zum Zwecke einer ganz scharfen Justirung des Instruments als zur Bestimmung der noch übrigbleibenden Fehler, um deren Einfluss auf die Beobachtungsresultate (Positionswinkel) in Rechnung ziehen zu können, kann man sodann die Durchgänge von bekannten Gestirnen im Meridian (in der Nähe des Poles und des Äquators) und in der Nähe des ersten Vertikals beobachten und die Kreisangaben ablesen. Man wird dann zwischen den Soll-Angaben von Uhr und Kreis und den wirklich beobachteten Daten einfache Beziehungen herstellen können, aus denen die noch vorhandenen Fehler sich werden ableiten lassen. Zu diesem Zwecke kann man sich z. B. denjenigen Punkt, in welchem die verlängerte Polaraxe das Himmelsgewölbe trifft (den Pol des Instruments) mit dem wirklichen Himmelspole verbunden denken; nennt man dann die Länge dieses Kreisbogens σ und den Stundenwinkel des Instrumentenpoles π, so hat man für die rechtwinkeligen Koordinaten des Letzteren bezogen auf den Himmelspol: $x = \sigma \cos \pi$ und $y = \sigma \sin \pi$, wo x der Abstand von dem Sechsstundenkreis und y derjenige von der Meridianebene ist.[1]) Aus den Beobachtungen eines Äquatorsterns und eines Polsterns nahe im Meridian mit Ablesung der Kreise, werden sich nun x und y und zugleich die Indexfehler der Kreise finden lassen, wenn man die beiden Durchgangsbeobachtungen sowohl bei Fernrohr West als auch bei Fernrohr Ost $\left(\text{oder anders bezeichnet } \frac{\text{Fernrohr}}{\text{Kreis}} : \frac{\text{vorausgehend}}{\text{folgend}}\right.$ und $\left.\frac{\text{folgend}}{\text{vorausgehend}}\right)$ ausführt. Aus den Beobachtungen von Gestirnen in der Nähe des ersten Vertikals ergeben sich weiterhin die Konstanten der Biegung der Axen und des Fernrohres, sowie die Neigungsfehler derselben zu einander.

Die in Rede stehenden Beziehungen sind:

1a. Für Kreis vorausgehend

$$\left\{\begin{aligned} \delta &= d + \triangle d - \sigma \cos(\tau - \pi) - \beta(\sin\varphi \cos\delta - \cos\varphi \sin\delta \cos\tau) \\ \tau &= t + \triangle t - \sigma \sin(\tau - \pi) \operatorname{tg}\delta + c \sec\delta - i \operatorname{tg}\delta + \alpha(\sin\varphi \operatorname{tg}\delta \\ &\quad + \cos\varphi \cos\tau) + \beta \cos\varphi \sec\delta \sin\tau \end{aligned}\right.$$

und

1b. Für Kreis folgend

$$\left\{\begin{aligned} 180^0 - \delta &= d + \triangle d + \sigma \cos(\tau - \pi) \\ &\quad + \beta(\sin\varphi \cos\delta - \cos\varphi \sin\delta \cos\tau). \\ 180^0 + \tau &= t + \triangle t - \sigma \sin(\tau - \pi) \operatorname{tg}\delta - c \sec\delta + i \operatorname{tg}\delta \\ &\quad - \alpha(\sin\varphi \operatorname{tg}\delta + \cos\varphi \cos\tau) + \beta \cos\varphi \sec\delta \sin\tau, \end{aligned}\right.$$

---

[1]) Das σ stimmt mit dem früher S. 611 angewandten $\triangle$ überein.

wenn δ und τ Deklination und Stundenwinkel des beobachteten Gestirnes, wegen Refraktion korrigirt, sind und ausserdem $\triangle d$ der Indexfehler des Deklinationskreises, $\triangle t$ der Indexfehler des Stundenkreises vermindert um den Ausdruck $\sigma \sin \pi \operatorname{tg} \varphi$ ist und φ, β, c und i die schon auf Seite 611 erläuterten Bedeutungen haben. Da die Beobachtung der Gestirne in beiden Lagen des Fernrohrs nicht genau im Meridian erfolgen kann, so werden die Abweichungen davon als Korrektion an die beobachteten Zeiten oder Kreisablesungen angebracht. Man hat dann zur Bestimmung von x aus beiden Lagen:

(2) . . . $\delta = d_1 + \triangle d - x - \beta \sin(\varphi - \delta)$, da $\cos \tau = 1$ und bei nahezu gleichen und kleinen Stundenwinkeln $\sin \pi \sin \tau_0 = \sin \pi \sin \tau_w$ gesetzt werden kann, und

$180^0 - \delta = d_2 + \triangle d + x + \beta \sin(\varphi - \delta)$, wo d_1 und d_2 die beiden Ablesungen des Deklinationskreises sind.

Daraus folgt und
$$\left.\begin{aligned} \triangle d &= 90^0 - \tfrac{1}{2}(d_1 + d_2) \\ x + \beta \sin(\varphi - \delta) &= 90^0 - \tfrac{1}{2}(d_2 - d_1) - \delta \end{aligned}\right\} \quad . . . . . (3)$$

Aus der ersten Gleichung von (3) hat man sofort den Indexfehler des Deklinationskreises und aus der zweiten Gleichung findet sich, wenn man β vernachlässigen darf (für kleinere Instrumente ist das zulässig), ebenso x und damit der Fehler der Polaraxe bezüglich ihrer Neigung zum Horizont. Anderenfalls giebt eine Reihe von Beobachtungen von Sternen mit möglichst verschiedener Deklination ein System von Gleichungen von der Form der zweiten Gleichung in (3) mit verschiedenen Koefficienten von β bei gleichbleibendem x und damit eine einfache Ermittlung von β nach der Methode der kleinsten Quadrate.[1]) Den Werth von y findet man durch Vergleich der Beobachtungszeiten (Sternzeit) mit den Ablesungen des Stundenkreises und zwar kann diese Beobachtung mit der Bestimmung von x verbunden werden.[2]) Nennt man die beiden Instrumentallagen I und II, und bezeichnet die beobachteten Sternzeiten (Uhrzeit + Uhrstand) mit $T_{1,a}$; $T_{1,b}$; $T_{2,a}$; $T_{2,b}$; resp. für einen zweiten Stern mit $T'_1 a$ u. s. w., so erhält man die mittleren Durchgangszeiten und Kreisablesungen nach folgendem Schema:

Stern	Lage des Instruments		Sternzeit	Mittel	Ablesung des Stunden-kreises	Mittel
Stern: 1	I	a	$T_{1,a}$	$= T_1$	$t_{1,a}$	$= t_1$
(α; δ)		b	$T_{1,b}$		$t_{1,b}$	
	II	b	$T_{2,b}$	$= T_2$	$t_{2,b}$	$= t_2$
		a	$T_{2,a}$		$t_{2,a}$	
			Mittel	$= T_0$	Mittel	$= t_0$
Stern: 2	II	a	$T'_{2,a}$	$= T'_2$	$t'_{2,a}$	$= t'_2$
(α'; δ')		b	$T'_{2,b}$		$t'_{2,b}$	
		b	$T'_{1,b}$	$= T'_1$	$t'_{1,b}$	$= t'_1$
		a	$T'_{1,a}$		$t'_{1,a}$	
			Mittel	$= T'_0$	Mittel	$= t'_0$

[1]) Natürlich genügen streng schon die Beobachtungen von 2 Sternen mit verschiedener Deklination.

[2]) Als Gesichtslinie des Fernrohrs ist immer die Verbindungslinie der Mitte des Objektivs mit dem Kreuzungspunkt eines einfachen Fadenkreuzes zu betrachten und falls ein

Wenn die Beobachtungen sehr nahe im Meridian gemacht sind, so ist der Einfluss von β (Fernrohrbiegung) sehr gering. Die Biegung der Deklinationsaxe α tritt aber immer in gleicher Verbindung mit i (Neigung der Deklinationsaxe gegen die Stundenaxe) auf und wird nur bei Polsternen, da sie mit $\operatorname{tg}\delta$ multiplicirt vorkommt, merklich. Man kann daher zweckmässig setzen: $i_1 = i - \alpha \sin\varphi$.

Weiterhin wird $\alpha \cos\varphi \cos\tau$ immer kleiner als α und daher praktisch von keiner Bedeutung sein, welcher Umstand die Berechtigung giebt, dieses Glied bei Aufstellungsbeobachtungen zu vernachlässigen. Wird alles dieses berücksichtigt und beachtet, dass $y = \sigma \sin\pi$ ist, so geht, wenn τ sehr nahe gleich 0^0 oder 180^0 ist, die Gleichung für τ für jeden Stern über in:

$$\tau = t + \triangle t + y \operatorname{tg}\delta + c \sec\delta - i_1 \operatorname{tg}\delta, \quad \text{wo } \tau = T - \alpha.$$

Daraus folgt: $y \operatorname{tg}\delta + c \sec\delta - i_1 \operatorname{tg}\delta = T_1 - t_1 - \alpha - \triangle t$ für die erste Beobachtung, für die zweite desselben Sterns in der anderen Instrumenten-Lage:

$$y \operatorname{tg}\delta - c \sec\delta + i_1 \operatorname{tg}\delta = T_2 - t_2 - \alpha - \triangle t,$$

womit man für den einen Stern (α, δ) erhält:

$$(4\,a)\ \ldots \left\{\begin{array}{l} y \operatorname{tg}\delta = T_0 - t_0 - \alpha - \triangle t \\ c \sec\delta - i_1 \operatorname{tg}\delta = \tfrac{1}{2}[(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)] \end{array}\right\} \text{(vergl. Schema).}$$

Ein zweiter Stern (α', δ') liefert dann ein gleiches System:

$$(4\,b)\ \ldots \left\{\begin{array}{l} y \operatorname{tg}\delta' = T_0' - t_0' - \alpha' - \triangle t \\ c \sec\delta' - i_1 \operatorname{tg}\delta' = \tfrac{1}{2}[(T_1' - t_1') - (T_2' - t_2')] \end{array}\right.$$

und aus der Kombination beider Systeme folgt:

$$(5)\ \ldots \left|\begin{array}{l} y(\operatorname{tg}\delta - \operatorname{tg}\delta') = (T_0 - T_0') - (t_0 - t_0') - (\alpha - \alpha') \\ c \sec\delta - i_1 \operatorname{tg}\delta = \tfrac{1}{2}[(t_2 - t_1) - (T_2 - T_1)] \\ c \sec\delta' - i_1 \operatorname{tg}\delta' = \tfrac{1}{2}[(t_2' - t_1') - (T_2' - T_1')] \end{array}\right.$$

woraus y und c und i_1 bei geeigneter Wahl der Sterne (wie schon mehrfach bemerkt) sofort abzuleiten sind

Für den Indexfehler des Stundenkreises $\triangle t$ findet man:

$$(6)\ \ldots \quad \triangle t = T_0 - t_0 - \alpha - y \operatorname{tg}\delta = T_0' - t_0' - \alpha' - y \operatorname{tg}\delta'.$$

Es braucht hier kaum darauf hingewiesen zu werden, dass auch aus der Kombination einer grösseren Anzahl von Beobachtungen die Werthe der Konstanten y, c und i_1 mit Zuhülfenahme derselben Gleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleitet werden können und, falls grosse Genauigkeit verlangt wird, abgeleitet werden müssen.

Durch ähnliche Beobachtungen im Stundenwinkel 6^h lässt sich auch, wie eine dementsprechende Gestaltung der Grundgleichungen (1) sofort lehrt, y unabhängig von c und i, finden; es wird dann

$$(7)\ \ldots \left|\begin{array}{l} \delta = 90^0 - \tfrac{1}{2}(d_2 - d_1) + y - \beta \sin\varphi \cos\delta \text{ und wenn} \\ 90^0 - \tfrac{1}{2}(d_2 - d_1) - \delta = p \text{ gesetzt wird} \\ p = - y + \beta \sin\varphi \cos\delta. \end{array}\right.$$

Positionskreis vorhanden ist, an Stelle dieses Kreuzungspunktes das Centrum dieses Kreises zu setzen. Da aber dieses nicht genau mit dem Schnittpunkt der mittleren Vertikal- und Horizontalfäden zusammen fallen wird, ist der Durchgang der Gestirne für beide Lagen des Instruments auch für diametrale Stellungen des Positionsmikrometers (in Lage a und in Lage b) auszuführen (vergl. Heliometer).

Ist derselbe Stern bei 6^h und bei -6^h Stundenwinkel beobachtet, so hat man unter Voraussetzung der Unveränderlichkeit des Instruments während dieser Zeit

$$(8) \dots \left\{ \begin{array}{rl} \text{resp.:} & p_1 = y + \beta \sin\varphi \cos\delta \\ & p_2 = -y + \beta \sin\varphi \cos\delta \\ \text{also} & y = \tfrac{1}{2}(p_1 - p_2). \end{array} \right.$$

Es findet sich also y aus der Differenz der Ablesungen des Deklinationskreises, wenn diese für eine etwaige Verschiedenheit der Refraktion in beiden Beobachtungszeiten korrigirt sind. Bei den bisher erläuterten Aufstellungsbeobachtungen ist immer das Instrument als mit Kreisen versehen vorausgesetzt und deren Angaben sind als nur mit den gleichfalls mit zu bestimmenden Indexfehlern behaftet, angenommen worden. Es giebt auch Methoden, x und y ohne Zuhilfenahme solcher Kreise zu bestimmen.[1])

Ebenso hat in neuerer Zeit die Ausführung von Aufstellungsbeobachtungen an zur Himmelsphotographie dienenden Instrumenten dazu Veranlassung gegeben, sowohl die Berichtigung dieser Refraktoren, als auch die Bestimmung ihrer Fehler durch die photographische Aufzeichnung der Sternspuren bei ruhendem Instrument zu bewerkstelligen. Ein näheres Eingehen auf diese Methoden dürfte hier aber viel zu weit führen und ich muss deshalb auf die betreffende Speciallitteratur verweisen.

---

[1]) Wegen der Ausführung dieser Beobachtungen, die sich natürlich auch auf die Hauptgleichungen stützt, verweise ich auf Chauvenet, Manual of spherical and practical Astronomy, Bd. II, S. 388 ff.

VII.

Pfeiler-
und
Sternwartenbauten.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Aufstellung und Fundirung der Instrumente.

1. Stative und Pfeiler im Allgemeinen.

Die Aufstellung der astronomischen Instrumente ist je nach ihrem Gebrauche eine verschiedene. Für kleinere, transportable Instrumente sind die betreffenden Einrichtungen, die Stative, zum Theil schon früher bei der Besprechung der Instrumente selbst mit erwähnt und erläutert worden, da dieselben dort häufig einen wesentlichen Antheil an der Verwendbarkeit des Instrumentes selbst haben und oft verschiedenen Bedürfnissen entsprechen müssen. Auch die leichteren Stative sollen vor Allem möglichst fest und sicher stehen, sodann auch in sich eine gute Versteifung und Verstrebung haben, so dass mit der Unverrückbarkeit der Fusspunkte auch jedes Wackeln und Federn vermieden wird und dass namentlich eine unbeabsichtigte Drehung um eine lothrechte Axe beim Gebrauche des aufgesetzten Instrumentes verhindert wird.

Aus diesen Gründen ist das dreibeinige Stativ allen anderen vorzuziehen; denn es wird nie gelingen, vier oder noch mehr Fusspunkte (wie es früher häufiger geschah) so genau der Beschaffenheit des Aufstellungsplatzes anzupassen als drei.

Des Weiteren tritt hier derselbe Vortheil ein, wie er schon bei den dreitheiligen Fussgestellen der Instrumente als höchst wichtig erörtert worden ist, dass man die Horizontkorrektion bei keiner anderen Aufstellung so leicht und zweckmässig ausführen kann als bei drei Stützpunkten. Diese Annehmlichkeit wird bei den grösseren Stativen noch dadurch von Wichtigkeit, weil es bei solchen gewöhnlich auch darauf ankommt, eine Axe, die in der Ost-Westrichtung, oder eine solche, die in der Nord-Südrichtung (Polaxe) liegt, genau horizontal oder in eine bestimmte Neigung zum Horizont zu bringen. Das lässt sich aber beides zugleich durch drei, der Höhe nach verstellbare Fusspunkte (Fussschrauben) leicht erreichen, wenn man die eine Seite des durch dieselben gebildeten gleichseitigen Dreiecks in die Richtung von Osten nach Westen bringt. Der dritte Fusspunkt wird dann entweder im Norden oder Süden, der Mitte der Ost-West gerichteten Seite gegenüber liegen. Hebt man also diesen Punkt N (Fig. 1140), ohne O und W zu berühren, so wird sich das ganze Stativ und Instrument um OW drehen, also die Einstellung einer Nord-Süd gerichteten Axe in eine bestimmte Neigung ermöglicht (Pol-Axe eines Äquatoreals). Wird aber O um ebensoviel gehoben, als man gleichzeitig W senkt, während N unberührt bleibt, so wird sich das ganze Stativ

um NM drehen, ohne dass sich die Neigung dieser Linie gegen den Horizont ändert. Damit kann also eine Ost-West gerichtete Axe korrigirt werden. Beide Bewegungen sind von einander unabhängig und können also vorgenommen werden, ohne dass bei der Korrektion der einen Axe die Lage der anderen gestört zu werden braucht.

Solche Stative finden sich auch viel bei grösseren, transportablen Äquatorealen. Häufig sind an den Stativen, neben den Schrauben auch noch frei bewegliche Rollen angebracht, welche nach Zurückziehen der ersteren in Thätigkeit treten. Dieselben erleichtern den Transport schwerer Instrumente sehr, wenn ausserdem die Terrassen oder Plattformen, auf welche dieselben herausgeschoben werden sollen, mit guten Steinplatten eben belegt oder betonirt sind. Auch hat man wohl extra zu diesem Zwecke kleine Schienengeleise gelegt. Es ist nur darin besondere Vorsicht anzuwenden, dass durch Unterfrieren im Winter die Bahn nicht unbrauchbar wird, was allein durch möglichst tiefe Fundirung zu umgehen ist. Für die Aufstellung der grösseren, astronomischen Instrumente müssen besondere Einrichtungen getroffen werden, welche man im Allgemeinen unter dem Namen Pfeilerbauten zusammenfassen kann. Wenn dieselben auch je nach der Art des aufzustellenden Instrumentes verschiedene Formen haben und nach mancherlei Konstruktionsprincipien errichtet werden, so sind doch einige Bedingungen von allen diesen Pfeilern gemeinsam zu fordern. Erstens muss eine möglichst grosse Erschütterungsfreiheit und zweitens ziemliche Unempfindlichkeit gegen thermische Einflüsse erreicht werden.

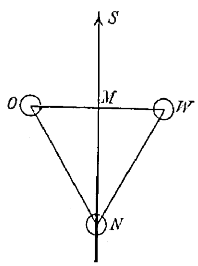


Fig. 1140.

Danach sind die Vorkehrungen beim Bau der Pfeiler zu treffen und so weit irgend thunlich auch das Terrain für die Anlage einer Sternwarte überhaupt auszuwählen. Was die erste Bedingung anlangt, so ist nicht jede Bodenart gleich gut geeignet für den Aufbau von Pfeilern; so weit angängig, sollte man stets bis auf das sogenannte gewachsene Gestein oder bis auf eine feste, sichere Kiesschicht herunter gehen, um auf diese die Pfeiler zu gründen. Unter Umständen ist für die Gesammtheit eines Pfeilersystems eine gemeinsame, verhältnissmässig dünne Asphalt- oder Betonschicht aufzubreiten.

Eine gute Drainage, sobald Grundwasser oder Quellsickerwasser auftritt, ist von grosser Wichtigkeit für dauernde Sicherung des Pfeilers. Gegenwärtig wird die Erschütterungsfreiheit immer schwerer erreichbar, da die Einflüsse, durch welche grosse Städte, Verkehrs- und industrielle Anlagen auf weite Strecken hin den Erdboden bis in tiefe Schichten erzittern machen, sich nur durch isolirte Lagen der Observatorien umgehen lassen würden. Das hat aber für die häufig auch Lehrzwecken dienenden Institute wieder so grosse anderweitige Nachtheile im Gefolge, dass man sich im Allgemeinen schon dazu wird verstehen müssen nach anderen Schutzmaassregeln zu suchen. Wenn auch für die sichere Anlage der Felsboden die günstigsten Bedingungen darbietet, so ist dieser doch auch der beste Leiter der obengenannten Störungen, und man wird deshalb elastische Sand- und Kiesschichten entweder

als Bettungsgrund selbst, oder als trennende, isolirende Zwischenlagerungen unter Umständen nicht ungern sehen, falls man nicht in der Lage ist, um die ganzen Gebäude herum tiefe, isolirende Gräben oder dergleichen anzulegen.

Ausser dem Untergrund ist aber auch die Form des Pfeilers für dessen Sicherheit von Belang, und namentlich seine Lage und Verbindung mit den übrigen Theilen des Gebäudes.

2. Pfeiler für Durchgangsinstrumente.

Die grössten Anforderungen bezüglich absoluter Stabilität müssen an solche Pfeiler gestellt werden, die zur Aufnahme von Meridiankreisen, Durchgangsinstrumenten jeder Art und Vertikalkreisen bestimmt sind; denn hier kommt es darauf an, dass für eine verhältnissmässig lange Zeit (24 Stunden und mehr) eine absolute Unbeweglichkeit oder wenigstens eine ganz gleichmässige Änderung mit der Zeit für die Lagerstützen des Instrumentes garantirt werden kann, falls dasselbe den heute zu stellenden Anforderungen genügen soll. Das kann natürlich neben den oben erläuterten Maassnahmen gegen Erschütterungen von aussen nur durch gänzliche Lostrennung des Pfeilerbaues von allen anderen Grund- und Umfassungsmauern des Gesammtgebäudes geschehen. Deshalb pflegt man auch die diesen Zwecken dienenden Pfeiler von Grund aus von jeder Berührung mit dem übrigen Mauerwerk frei zu halten und dieselben meist von einer tieferen Bodenschicht an aufzumauern, als es für die Grundmauern erforderlich ist. Der geringste Abstand sollte nie unter 20—30 cm heruntergehen. Die Form, welche man solchen Grundpfeilern (womit vielleicht zweckmässig derjenige Theil der Pfeilerbauten bezeichnet wird, welcher unterhalb des Fussbodens des Beobachtungsraumes liegt) zu geben pflegt, ist entweder diejenige eines grossen Parallelepipedes, Fig. 1148, oder die einer schwach konischen, abgestumpften, vierseitigen Pyramide, Fig. 1141. Die letztere Form gewährt, falls die Raumverhältnisse ihre Wahl gestatten, natürlich noch mehr Sicherheit als die erstere.

Besondere Beachtung ist dem Material und dem Aufbau des Pfeilers zuzuwenden. Eine möglichst grosse Homogenität des erstern ist anzustreben. Geh. Oberbaurath Spieker, der Erbauer des Potsdamer Observatoriums, giebt in seiner Behandlung der hier besprochenen Aufgaben als besten Baustoff einen mageren Grobmörtel mit möglichst wenig Cementzusatz an, oder ein Mauerwerk aus leicht gesinterten, siliciösen Backsteinen und ganz magerem Kalkmörtel. Bruchsteine und zu starken Cementzusatz zu den Betonmassen hält er für weniger empfehlenswerth, weil bei deren Verwendung häufig ein durch Zersetzungen hervorgebrachtes sogenanntes „Treiben“ beobachtet worden ist, was natürlich die Stabilität stark gefährdet. Die erst genannten Baustoffe schliessen sich meist der Natur des Untergrundes am besten an und gewähren auch dadurch schon bei der gleich zu besprechenden Temperaturkonstanz einen Vortheil.[1]) Soll ein solcher aufgemauerter Grundpfeiler seinem

[1]) Handbuch der Architektur, IV. Theil, 6. Halbband, Heft 2, Seite 474ff. Den dort gegebenen Ausführungen über die Anlage von Observatorien bin ich in vielen Punkten gefolgt.

Zwecke ganz entsprechen, so hat man auch dafür zu sorgen, dass sowohl die während der Trockenperiode auszuscheidende, als auch etwa später hinzutretende Feuchtigkeit unschädlich gemacht wird. Das geschieht am besten dadurch, dass man den Grundpfeiler, namentlich wenn er wie bei Durchgangsinstrumenten grosse, kompakte Massen darstellt, nicht ganz homogen errichtet, sondern denselben mit geeigneten Kanälen und ventilirten Hohlräumen durchsetzt. In Fig. 1141 ist eine derartige Einrichtung eines Grundpfeilers dargestellt. Es ist dort p p das Mauerwerk des Grundpfeilers l, l und z, z, sind Luftkanäle von verschiedener Grösse, welche den Pfeiler kreuzweise durchziehen. Unter Umständen werden diese Kanäle an einzelnen Stellen erweitert, so dass sie zur Aufnahme von Uhren oder kleiner Intrumente (meist zu seismischen Zwecken) dienen können.

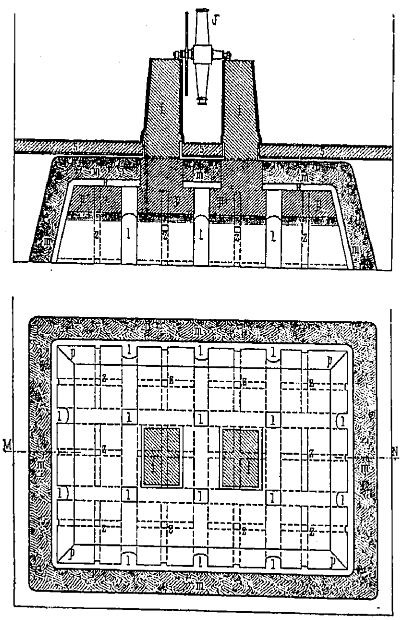


Fig. 1141.
(Aus Handb. d. Architektur.)

Der Bedingung der Unempfindlichkeit gegen äussere Temperatureinwirkungen wird zunächst schon dadurch einigermassen genügt, dass diese Gesteinsmassen jetzt nur noch wenig über die Erdoberfläche erhöht zu werden pflegen, sodann aber sind auch die umgebenden Ringmauern des Gebäudegrundes ein wirksamer Schutz, zumal sie je zwischen sich und dem Pfeiler noch eine erhebliche Schicht der schlecht leitenden Luft bestehen lassen, welche hauptsächlich durch ihre Stagnation (Unbeweglichkeit) den Wärmeaustausch erschwert. Soll aber auf diese Wärmekonstanz ein ganz besonderer Werth gelegt werden, so ist es wünschenswert, den eigentlichen Grundpfeiler noch mit einer Art Mantel zu umgeben, wie es die Fig. 1141 bei m, m zeigt.[1]) Dieser Mantel wird von dem eigentlichen Pfeiler völlig isolirt, wenn auch auf demselben Grund stehend, aufgeführt und oben flach zugewölbt oder vermittelst eiserner Träger eingedeckt, doch so, dass sowohl der Grundpfeiler selbst überall 5—10 cm von der Innenseite des Mantels absteht, als auch die auf diesem Pfeiler selbst stehenden eigentlichen Instrumentalpfeiler f, f völlig frei und unberührt durch diese Decke hindurch gehen, wie das auch mit dem gleich darüber liegenden eigentlichen Fussboden der Fall sein muss. Neuerdings spart man auch in den Grundpfeilern an verschiedenen Stellen verschieden tiefe Öffnungen von oben aus, um später geeignete Thermometer in dieselben einzusenken, welche durch Öffnungen im Fussboden des Beobachtungsraumes herausgenommen und abgelesen werden können (Berlin, Strassburg), so erhält man eine Kontrole über das thermische Verhalten der Grund-

[1]) Dazu sind auch die Fig. 1150, 1152 u. 1156 zu vergleichen.

pfeiler und kann die bei günstiger Anlage noch etwa verbleibenden Schwankungen in Beziehung setzen zu den Variationen der Instrumentalkonstanten, zu oberirdisch beobachteten Temperaturperioden u. s. w. Ich verweise in dieser Beziehung auf die in Berlin von Förster[1]) und namentlich auch in Greenwich[2]) gesammelten höchst interessanten Erfahrungen.

Sind nach Obigem für die Grundpfeilermasse die besten Vorkehrungen für eine möglichste Temperaturkonstanz und Unempfindlichkeit gegen äussere Temperaturänderungen getroffen, so ist auch die Unveränderlichkeit für die auf den Grundpfeilern aufgesetzten eigentlichen Instrumentalpfeiler, welche mehr oder weniger weit in die Beobachtungsräume hineinragen, zu sichern. Das kann aber nicht, wie es früher versucht worden ist, durch einen Abschluss gegen die Temperatur des Beobachtungsraumes am besten geschehen, da dieser sich nie so vollkommen herstellen lassen wird, sondern man hat namentlich in neuerer Zeit erkannt, dass ein möglichst schneller Ausgleich der Temperatur-Unterschiede zwischen Pfeiler und umgebender Luft, sofern dieser sich auf den oder die Pfeiler gleichmässig erstreckt, das Wünschenswerthere ist. Dieses zu erreichen, wählt man jetzt nur selten für diese Pfeiler noch Monolithe aus Sandstein, Marmor, Granit oder dgl., da deren geringe Homogenität Anlass zu Bedenken nach der angedeuteten Richtung hin giebt, sondern man mauert dieselben ebenfalls aus gut gebrannten Backsteinen wie die Grundpfeiler auf. Es werden dadurch bei gleicher Festigkeit allerdings ihre Dimensionen etwas grösser gewählt werden müssen, aber nur bei Vorhandensein sehr gleichmässigen Materials sollte man den monolithischen Aufbau bevorzugen. Dass diese Pfeiler stets durch Fussböden und dgl. völlig frei hindurchgehen müssen, ist schon erwähnt.

Der Hauptfeind der Stabilität der oberirdischen Pfeiler ist die ungleiche Erwärmung der einzelnen Teile derselben, mag dieselbe nun durch die Bestrahlung erwärmter Gebäudetheile, durch ungleiche Luftcirkulation im Innern des Beobachtungsraumes, durch die Strahlung von Lampen, oder durch die Körperwärme des Beobachters selbst bei Annäherung an den Pfeiler von der einen oder anderen Seite hervorgebracht werden. Man schützt sich dagegen durch entsprechende Umhüllungen des Pfeilers. In dieser Beziehung hat man zunächst dafür zu sorgen, plötzliche, lokale Wärmeeinflüsse abzuhalten, was wohl durch eine gute Holzumhüllung, welche sehr sorgfältig von dem Pfeiler isolirt sein muss und nur auf dem ebenfalls ganz frei denselben umgebenden Fussboden aufruht, geschehen kann. Ein Abstand von 4—6 cm von der Pfeilerfläche kann als genügend angesehen werden. Diese zunächst als schlechte Wärmeleiter dienende Umhüllung, schützt auch zugleich den Pfeiler gegen Berührung und Stösse, welche trotz aller Vorsicht doch ab und zu einmal vorkommen können. Nun hat man aber, wie schon erwähnt, namentlich gestützt auf die Untersuchungen von Scheiner in Potsdam, die Bemerkung gemacht, dass ein gleichmässiger Austausch und ein möglichst geringes Eindringen der strahlenden Wärme am besten erzielt wird durch

[1]) Astron. Nachr., Bd. 107, S. 1.

[2]) Monthly Notices, Bd. XLVII, S. 325.

Umhüllungen der zu schützenden Massen mittelst blanker Metalle. Bekanntlich sind diese sehr gute Wärmeleiter, sie werden also eine örtliche Erwärmung schnell der ganzen Umhüllungsfläche mittheilen und so eine Gleichmässigkeit in der Erwärmung oder Abkühlung herbeiführen, wie es schlecht leitende Substanzen nicht vermögen. Andererseits aber wird auch der bei weitem grösste Theil der auffallenden „strahlenden“ Wärme wieder reflektirt werden und so für den umhüllenden Pfeiler unschädlich gemacht. Mit gutem Erfolge ist auch die letztere Umhüllung allein oder in doppelter Lage mit zwischen befindlicher dünner Luftschicht angewandt worden; es ist sodann nur Sorge zu tragen, dass ein geeignetes Gerippe von starken Eisenstäben den oder die dünnen Blechmäntel genügend stützt und von den Pfeilern frei hält. Eine solche Einrichtung mit einfacher Weissblechumkleidung der Pfeiler hat sich hier in Göttingen, wo sonst die Beobachtungsräumlichkeiten den Anforderungen der Neuzeit nicht ganz entsprechen und also infolgedessen ungünstige Verhältnisse vorliegen, seit mehreren Jahren recht gut bewährt.

Noch auf einen Punkt möchte ich an dieser Stelle aufmerksam machen, nämlich auf die Sicherung der nächsten Umgebung des oberirdischen Pfeilertheiles gegen die etwa aus den den Grundpfeiler umgebenden Kellerräumen aufsteigende Feuchtigkeit und Luftströmung, welche ihren Weg durch den zwischen Pfeilern und Fussboden frei zu lassenden schmalen Raum nehmen können. Namentlich die Feuchtigkeit kann von sehr schädlichem Einfluss, sowohl auf den Pfeiler selbst, als auf die auf demselben ruhenden Metalltheile sein, da sie zwischen Pfeiler und Umhüllung desselben keinen genügenden Abzug findet und es dadurch zu Schimmel- und Rostbildung kommt. Man hat deshalb diesen schmalen, isolirenden und durchaus nöthigen Zwischenraum meist mit Filz, Watte, Asbest oder dgl. ausgestopft, wodurch die Zugluft wohl abgehalten wird, Erschütterungen des Fussbodens aber fast nicht auf den Pfeiler übertragen werden können. Diese Materialien sind aber meist selbst dem Verderben ausgesetzt, und es ist daher eine Einrichtung zu empfehlen, wie man sie neuerdings in Bamberg angewandt hat. Dort sind die Pfeiler in Höhe der Fussbodenunterkante mit einer Art Rinne g umgeben, Fig. 1156, die eine sehr langsam verdunstende Flüssigkeit (z. B. Glycerin) enthält. In diese in der Rinne befindliche Flüssigkeit taucht ein Ansatz aus Winkeleisen, der an der Unterfläche des Fussbodens oder an der Pfeilerumhüllung befestigt ist, einige Millimeter ein, aber so, dass er unter keinen Umständen die Wandung der Rinne berühren kann. Sind die Dimensionen geeignet, d. h. nicht zu klein gewählt, so wird auf diese Weise ein sehr zweckmässiger und sicherer Schutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und gegen schädliche Luftströmungen erzielt.

Sehr oft ist innerhalb der Grundmauern der Meridiansäle nicht nur der Grundpfeiler für das Instrument selbst zu errichten, sondern es sollen auch noch für mehrere Hülfsapparate gesicherte Aufstellungen erlangt werden. Ist die Entfernung dieser Nebenpfeiler von dem Instrument nicht zu gross, der Gesammtraum also von kleinerer Ausdehnung, so kann man diese die Kollimatoreinrichtungen tragenden Pfeiler mit auf demselben Grundpfeiler aufbauen. Es hat dieses den Vorzug der grossen gegenseitigen Stabilität und

relativen Unveränderlichkeit der Apparate für den Fall, dass diese überhaupt erwünscht ist. (Vergl. das Kapitel über Kollimatoren und Miren). Ist der Raum aber ein grosser, d. h. sind die Nebenpfeiler verhältnissmässig entfernt vom Hauptinstrument, vier bis fünf und mehr Meter, so hat man die gegenseitige Sicherung auch auf anderem Wege zu erreichen versucht. — Es ist dies in ausgedehntem Maasse z. B. bei den Meridianbauten in Strassburg geschehen Fig. 1151. Dort sind die Grundpfeiler für die Meridian-Instrumente und die Kollimatoren als abgestumpfte Kegel aus einer Tiefe von 5 Meter auf Betonschichten, die auf Kieselgeschieben des Rheines ruhen, aufgemauert. Über Tage sind sowohl die vier Kollimatorpfeiler (Nord-Süd-Ost-West) durch Gewölbe mit einander verbunden, als auch der nördliche und südliche derselben auf ähnliche Weise mit dem Hauptgrundpfeiler. Dadurch ist ein äusserst sicheres System von grosser Grundfläche und starker, innerer Stabilität geschaffen. Etwa 3 Meter über Tage liegt ein auf die innere von zwei durch eine Luftschicht getrennte Umfassungsmauern sich stützendes Gewölbe, welches nur die eigentlichen Instrumentalpfeiler frei hindurch lässt, im Übrigen aber den so gebildeten Kellerraum ganz abschliesst. Dadurch ist eine Umhüllung des ganzen Pfeilersystems geschaffen, welche eine bedeutende Temperaturkonstanz verbürgt und von den äusseren Theilen des Gebäudes nach Möglichkeit unabhängig ist. Über den oberen Gewölben liegt dann der eigentliche Fussboden der Meridiansäle.

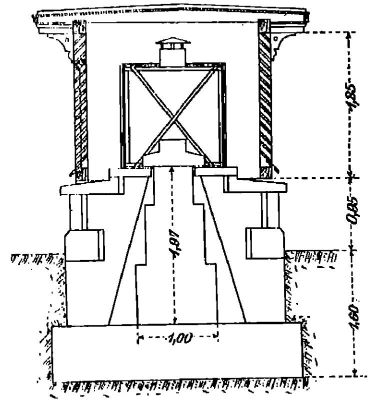


Fig. 1142.
(Nach Annalen d. Sternwarte zu Strassburg, Bd. I.)

Häufig trägt der Grundpfeiler auch noch einen zwischen den beiden Instrumentenpfeilern verlaufenden Mauerstreifen, welcher durch eine abschliessende Öffnung im Fussboden entweder nur zwischen den Pfeilern oder auch auf eine weitere Strecke von Süden nach Norden zugänglich ist. Auf diesem mehr oder weniger ausgedehnten Pfeileransatz ruhen die bei den Reflexionsbeobachtungen benöthigten Quecksilberhorizonte resp. die Schienen für deren verschiebbare Gefässe (Fig. 1151).

Wie bei der Beschreibung der Strassburger Fundirung erwähnt, benöthigt man noch eine Reihe von Hülfspfeilern für die Meridianinstrumente; diese sind nun theils im Innern der Beobachtungsräume aufgeführt, wo sie Kollimatoren tragen, und haben dann für sich dieselben Bedingungen zu erfüllen, wie die Hauptpfeiler, wobei man allerdings Rücksicht auf ihre geringe Grösse nehmen kann. Häufig ist es aber auch für die Aufstellung von Miren (siehe dort) erforderlich, in grösserer oder kleinerer Entfernung vom Hauptinstrument detachirte Pfeiler zu erbauen. Die Fundirung derselben ist in ganz gleicher Weise auszuführen, wie es für das Hauptinstrument angegeben worden ist, nur sind die Dimensionen viel kleiner — etwa 2 m im Geviert für die Grundpfeilerbasis und $1—1^1/_2$ m Quadrat für den Mirenpfeiler

selbst — im rechteckigen oder eventuell auch runden Querschnitt zu wählen. Die Bedingungen für die Stabilität sind um so strenger zu erfüllen, je näher sich die Mire dem Hauptinstrument befindet, da kleine Verschiebungen dann einen um so grösseren Winkelwerth repräsentiren. Man ist wegen Raummangels und auch aus anderen Gründen (siehe oben) bis auf 50—150 m an den Hauptpfeiler herangegangen, andererseits ist man auch jetzt wieder bestrebt, unter Benutzung geeigneter Mirenkonstruktionen auf so weite Entfernungen zu gehen, wie es bei den alten Meridianzeichen der Fall war.

Zum Schutze gegen Temperatureinflüsse und gegen anderweitige Störungen der Mire oder Beschädigungen derselben überbaut man diese Pfeiler mit entsprechenden kleinen Häuschen aus Holz oder Mauerwerk, welche nach dem Meridiankreis zu durch Thüren, deren Öffnen und Schliessen unter Umständen vom Hauptgebäude aus elektrisch besorgt werden kann, verschlossen sind. Die Einrichtung einer zweckmässigen Mirenaufstellung zeigt die Fig. 1142 (Strassburg).

3. Pfeilerbauten für Äquatoreale oder grössere Altazimuthe.

Da für diese Instrumente nicht nur eine freie Visirlinie in der Nord-Süd-Richtung gefordert werden muss, sondern dieselben nach allen Richtungen hin verwendbar sein sollen, so ist für deren Aufstellung meist eine etwas höhere Lage erforderlich, namentlich dann, wenn die Aufstellungsräume derselben mit den übrigen Gebäuden einer Sternwarte kombinirt sind. Dadurch ist man genöthigt, den für solche Instrumente bestimmten Pfeilern eine etwas andere Form und Konstruktion zu geben, als denjenigen für Durchgangsinstrumente. Andererseits sind die Schwierigkeiten, welche die Errichtung so weit über den Boden emporragender Pfeiler bezüglich ihrer Stabilität darbieten würde, hier nicht so erhebliche, da die auf solchen Pfeilern montirten Instrumente meist nicht für sogenannte absolute Bestimmungen verwendet werden und daher deren Unveränderlichkeit nur während eines kürzeren Zeitraumes gefordert zu werden braucht, wenn auch nicht unerwähnt bleiben darf, dass namentlich systematische Verdrehungen oder Biegungen, welche etwa von der Tagesperiode abhängen, unter Umständen von grossem Nachtheil sein können und es deshalb auch hier erforderlich ist, auf die Temperaturkonstanz ein Hauptaugenmerk zu richten.

Meist wählt man im Anschluss an den thurmartigen Charakter der Bauten auch einen kreisförmigen Querschnitt oder den eines gleichseitigen Vielecks als Grundriss der Pfeiler. Die Fundirung geschieht am besten ebenfalls möglichst tief und unabhängig von dem übrigen Mauerwerk, wenn nicht bezüglich des letzteren Punktes andere Umstände es wünschenswerth machen, den Pfeilern eine sehr grosse Basis zu geben, oder auch die Räume, welche dieselben durchsetzen, noch anderen Bestimmungen dienen sollen. In dem letzteren Falle, der namentlich in neuerer Zeit dann vorkommt, wenn es sich um die Aufstellung sehr grosser Refraktoren handelt, pflegt man, wie es Fig. 1143—1146 (Strassburger Refraktorbau) zeigt, von einem ringförmigen oder ähnlich gestalteten Grundpfeiler ausgehend, die Mauern für die Umfassungs-

wände des Kuppelbaues und des Pfeileraufbaues als einheitliches Mauerwerk in Form eines Ringes oder eines Vielecks bis über Tage zu führen. Dort sind gewöhnlich verschiedene Durchbrechungen der Umfassungsmauern nöthig, um Zugänge für die anschliessenden Gebäude zu erhalten, sodass nur eine Reihe sehr starker mit einander verwölbter Pfeiler stehen bleibt. Zum Theil sind diese schon zweitheilig konstruirt, sodass sie aus einem inneren und einem äusseren Theile bestehen, von welchen die letzteren zum

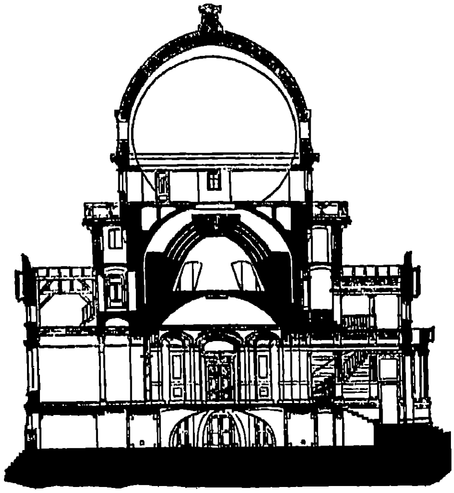


Fig. 1143.

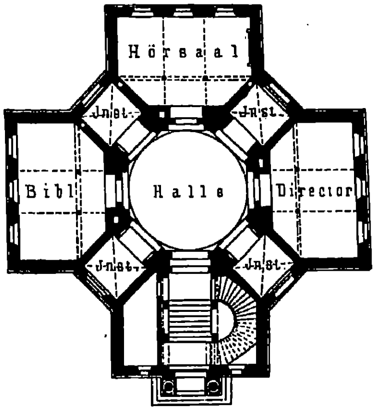
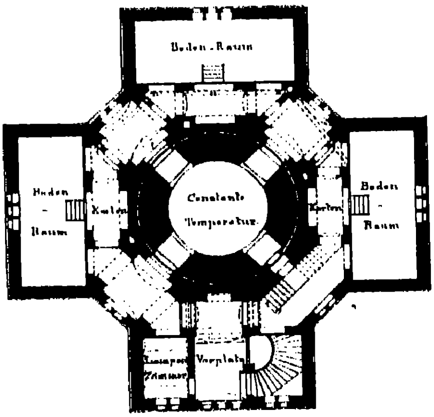


Fig. 1144.



Grundriss des ersten Stockes

Fig. 1145.

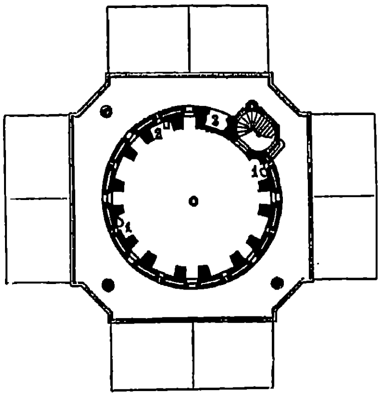


Fig. 1146.

(Aus Handb. d. Architektur.)

Tragen der Ringmauer des Aufbaues dienen, während die inneren Theile mit einer Kuppel überwölbt sind, welche dann den eigentlichen Instrumentenpfeiler oder direkt die Säule des Instruments auf ihrer obersten Plattform trägt. Wie die Fig. 1143 zeigt, kann diese Überwölbung noch mehrfach gegliedert sein, sodass auf der eigentlichen Überwölbung noch eine zweite steilere, die wieder aus einer Reihe einzelner Schichten bestehen kann, aufruht, und dann diese erst das Instrument trägt. Dadurch erzielt man in dem

Zwischenraume eine thermischen Einwirkungen sehr wenig zugängliche Aussparung, welche zur Aufstellung von Uhren und dergleichen sich besonders gut eignet. In dem angeführten Beispiele ist die Trennung der beiden Mauertheile nicht gleich über Tage begonnen, sondern der gemeinschaftliche Grundbau setzt sich bis zur ersten Etage fort, und erst dort beginnt die Trennung. Bei der grossen Stabilität, welche einer solchen Anordnung innewohnt, kommen die Erschütterungen, die sich von dem ganzen Gebäude auch auf die das Instrument tragende Wölbung fortpflanzen können, wenig in Betracht, zumal ja immer der Fussboden des Beobachtungsraumes dann auf dem äusseren Mauersystem aufruhen muss und also von dem Instrument isolirt bleibt. Der untere grosse Kuppelraum ist dann ein sehr geeigneter

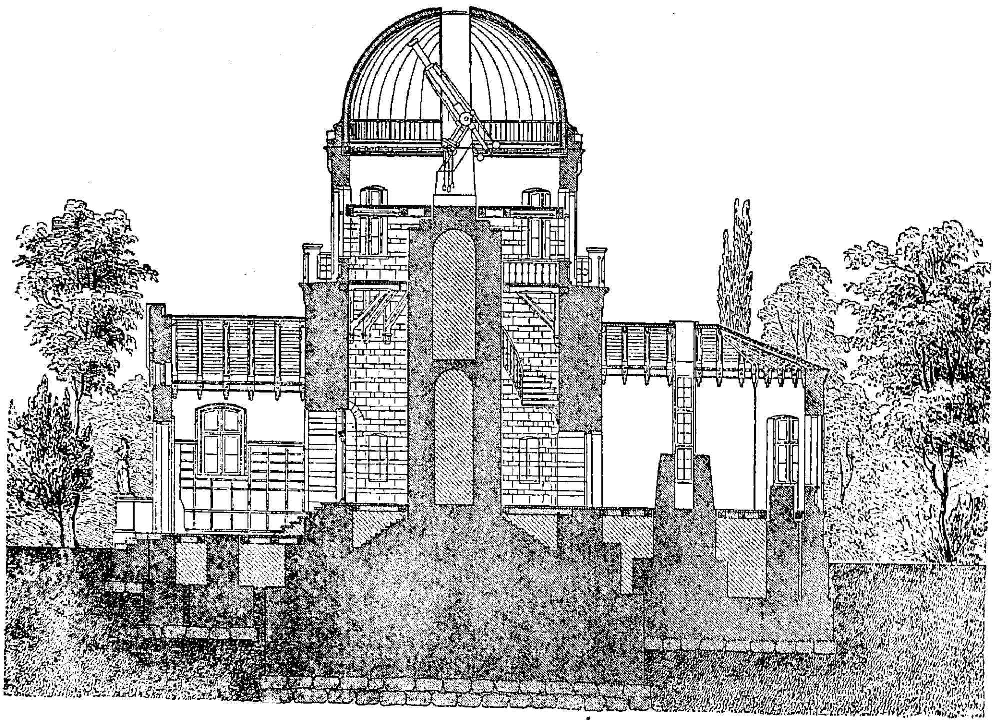


Fig. 1147.
(Aus Handb. d. Architektur.)

Platz für die Aufstellung historischer Sammlungen und für andere monumentale Zwecke und meist architektonisch besonders reich gestaltet. In Pulkowa befindet sich in der Mitte dieses Raumes noch ein besonderer vom Boden isolirter Pfeiler, der ebenfalls zur Aufstellung von Instrumenten eingerichtet ist.

In manchen Fällen hat man auch die Fundirung von Kuppelraum und Pfeiler wohl gemeinsam ausgeführt, aber sogleich von unten auf den Instrumentenpfeiler durch grossen Raum von den Ringmauern getrennt und in cylindrischer oder schwach konischer Form bis zur zweiten oder dritten Etage in die Höhe geführt, (z. B. bei der Sternwarte zu Kopenhagen, von der Fig. 1147 eine Querschnittsdarstellung giebt). Bei der grossen Masse

eines solchen Pfeilers ist es dann erforderlich, vielfache Kanäle und Aussparungen in demselben anzubringen, die einmal das gute Austrocknen und die gleichmässige Wärmevertheilung befördern, andererseits aber auch, wie oben schon bemerkt, wenn sie grössere Höhlungen darstellen können, sehr zweckmässige Orte für solche Instrumente darbieten, welche einer sehr konstanten Temperatur und zugleich sehr sicherer Aufstellung bedürfen (Uhren, Pendelapparate, Seismographen u. dergl.).

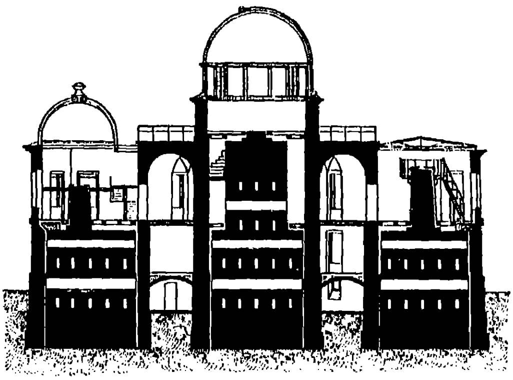


Fig. 1148 a.

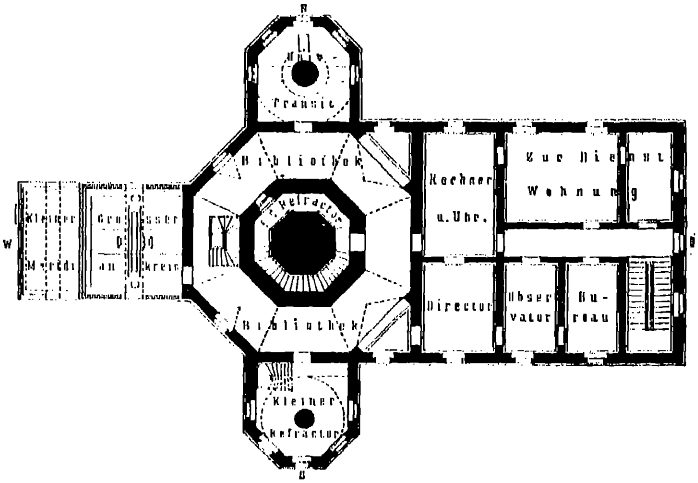


Fig. 1148 b.
(Aus Handb. d. Architektur.)

Ganz isolirt von den übrigen Gebäudemauern sind diese grossen Pfeiler z. B. in Berlin und Wien durchgeführt, wie die Fig. 1148, 1149 zeigen. Zur Erzielung einer grossen Temperaturkonstanz und zur Abhaltung einseitiger Wärmeeinflüsse hat man die eigentlichen Pfeiler wohl auch noch mit getrennt davon aufgeführten Backsteinmänteln umgeben, welche den ganzen Pfeiler in einem Abstand von 10—20 cm bis oben hin umgeben und so die eigentliche Instrumentensäule frei durch ihre Decke hindurchtreten lassen, was z. B. bei den Pfeilern für das Altazimuth und den Bahnsuchern in Strassburg der Fall ist, Fig. 1150.

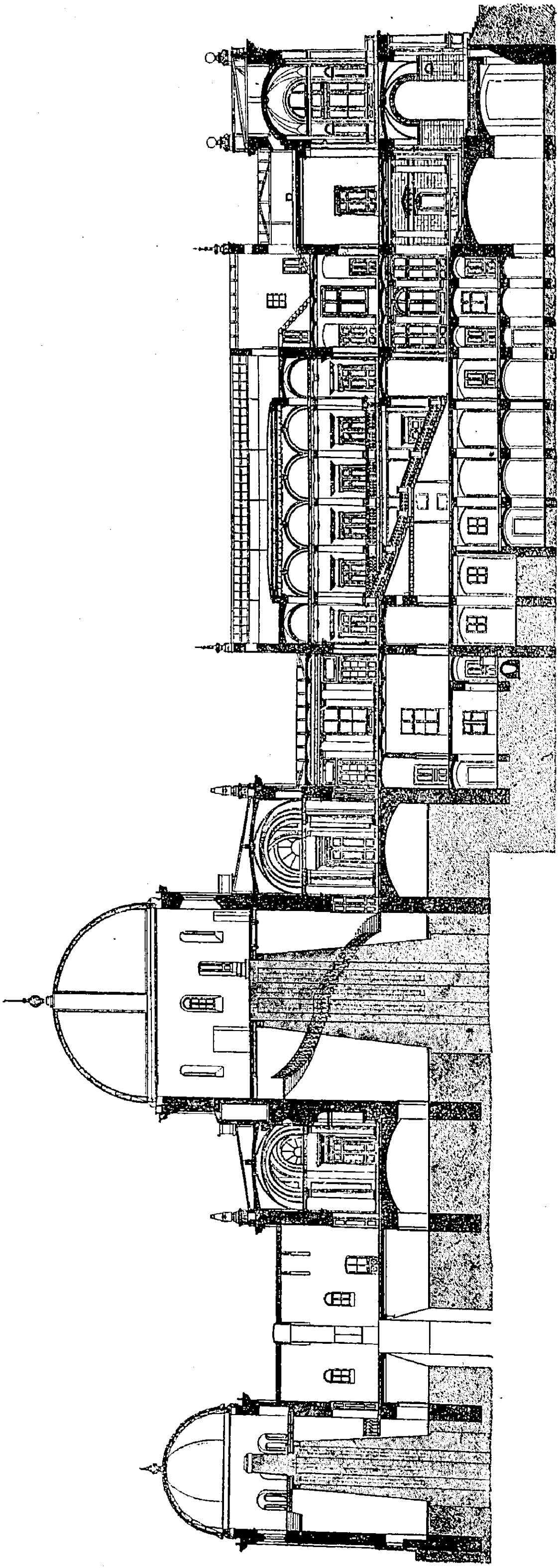


Fig. 1149. (Aus Handb. d. Architektur.)

Das Material, aus welchem solche Pfeiler zu errichten sein werden, muss im Allgemeinen denselben Anforderungen genügen, wie dasjenige der Pfeiler für Durchgangsinstrumente, nur werden hier vielfach zur unteren Fundirung auch Bruchsteine in Mörtel- oder Cementbettung verwendet werden können, da diese durch ihre grössere Schwere auch eine erhöhte Standsicherheit bei guter Bodenbeschaffenheit darbieten. Auch der weitere Aufbau, namentlich der in ihren unteren Theilen hallenartig gestalteten Pfeiler wird vielfach aus Sandstein, dichten Kalksteinen oder Graniten bestehen, zumal wenn gleichzeitig äusseren architektonischen Formen durch diese Mauern genügt werden muss. Sind die Pfeiler im Innern der Thürme gelegen, so pflegt man sie meistens aus gut gebrannten Ziegelsteinen in koncentrischen Schichten, eventuell mit starken Rippenverstärkungen aufzuführen (s. Fig. 1156 u. 1182).

Eine Besonderheit dieser für hoch über dem Erdboden aufzustellende Instrumente

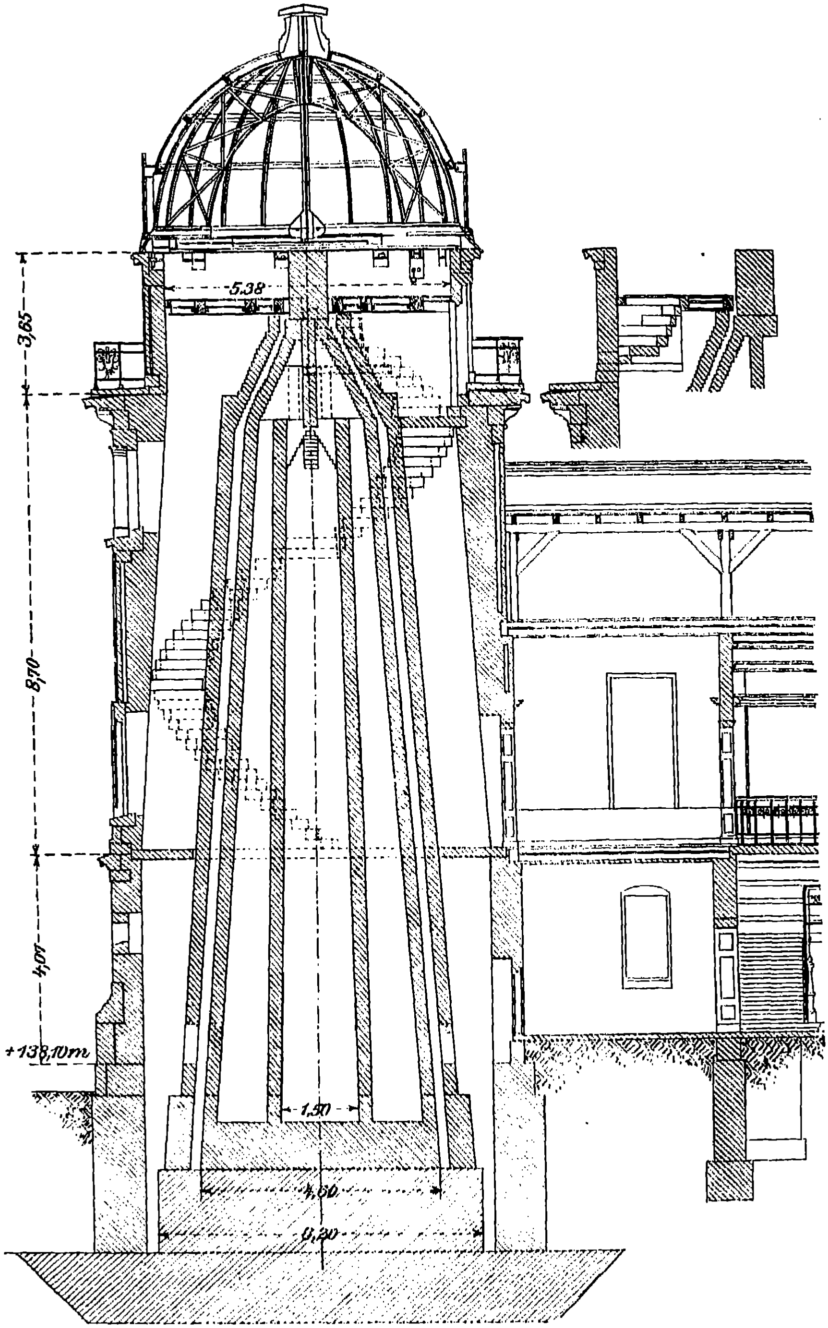


Fig. 1150.
(Nach Annalen d. Sternwarte zu Strassburg, Bd. 1.)

nöthigen Bauten bilden die zu den Beobachtungsräumen führenden Treppen. Bei deren Anlage ist als erste Bedingung Unabhängigkeit vom Instrumentenpfeiler anzusehen, wozu dann noch die Sicherheit und Bequemlichkeit des Aufstieges hinzukommt. Es ist deshalb häufig Gebrauch, diese

Treppen aus Steinstufen, welche in die Aussenmauer des Thurmes eingelassen sind, herzustellen. Dieselben sind dann nach innen, wo sie je nach dem Durchmesser des Thurmes noch mehr oder weniger weit vom Pfeiler abstehen, mit einem festen Geländer versehen, und gliedern sich je nach der Höhe in mehrere durch Poteste unterbrochene Stufenreihen. In anderen Fällen hat man diese Treppen auch wohl ganz aus Eisen oder Holzkonstruktionen hergestellt, welche dann ebenfalls ihre Sicherung an der Aussenmauer finden.

Der Eintritt von diesen Treppen in den Beobachtungsraum gestaltet sich auch nach den Raumverhältnissen oder nach den besonderen Ansichten der

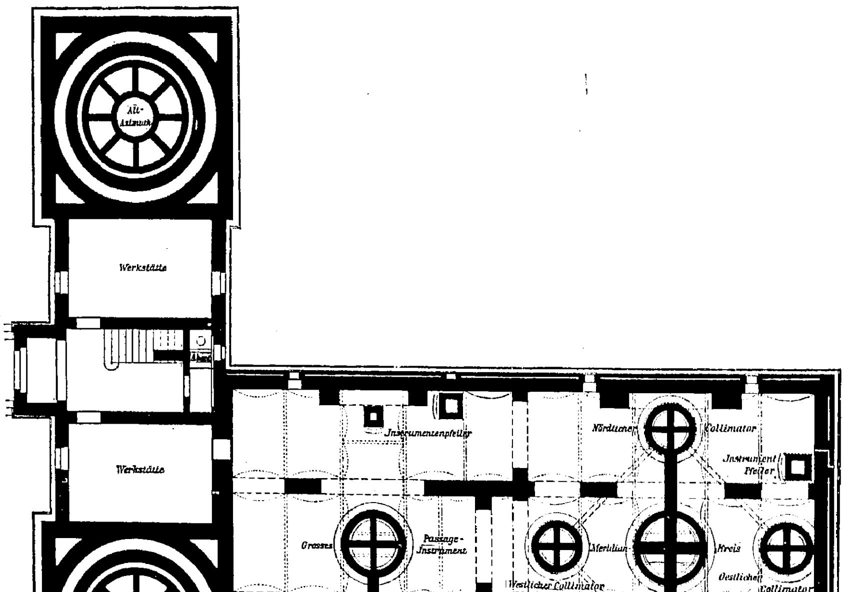


Fig. 1151.
(Nach Annalen d. Sternwarte zu Strassburg, Bd. 1.)

leitenden Architekten und Astronomen verschieden. Früher liess man die Treppe vielfach durch eine Fallthüre direkt in den Beobachtungsraum münden (Fig. 1147, 1148 u. 1150). Das hat aber manche Nachtheile, namentlich den der Unsicherheit für den Beobachter, der in der Dunkelheit wohl ab und zu über den sicheren Verschluss der Fallthüre im Unklaren sein kann; dann aber auch den, dass für den Fall der Belastung der Thürklappe durch den Beobachtungsstuhl oder dergleichen der Zutritt zum Beobachtungsraume verschlossen ist.

In neuerer Zeit pflegt man daher die Treppe meist durch eine Thüre in der Umfassungsmauer auf die den Thurm meist umgebene kleinere oder

grössere Plattform oder Galerie münden zu lassen und erst von dieser aus den Eingang in den Beobachtungsraum durch eine gewöhnliche Thüre herzustellen. Wenn durch diese Einrichtung auch ein kleiner Umweg geschaffen wird, so ist dieselbe doch unbedingt der älteren Anordnung vorzuziehen.

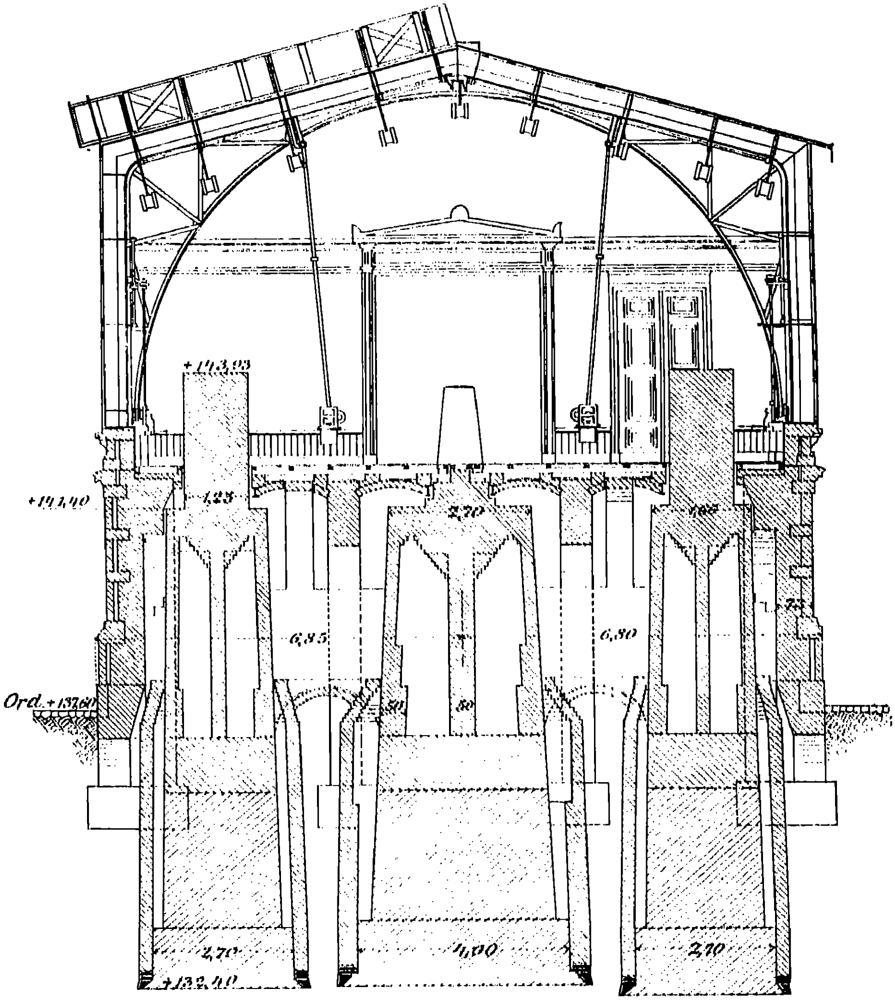


Fig. 1152.
(Nach Annalen d. Sternwarte zu Strassburg. Bd. 1.)

Bei grösseren Anlagen hat man wohl auch besondere Treppenhäuser entweder für sich oder in cylindrischen Aussparungen der Umfassungsmauern angebracht, Fig. 1146d, welche in verschiedener Weise mit dem Kuppelraum in Verbindung stehen, aber dann immer durch gewöhnliche Thüreingänge. Die letzteren Einrichtungen sind entschieden, wenn es der Raum und die Kosten erlauben, allen anderen vorzuziehen.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Aufstellungsräume.

1. Beobachtungsräume und deren Einrichtung.

Die Räume, in denen die astronomischen Instrumente aufgestellt werden, soweit es sich nicht um kleinere, transportable Apparate handelt, welche entweder völlig im Freien benutzt werden, zu ihrer Aufstellung also nur eines Pfeilers oder starken Stativs bedürfen, oder welche nur für kurze Zeit an einem Ort verbleiben sollen, z. B. zum Zwecke temporärer Vermessungen, Längenbestimmungen und dergleichen, scheiden sich ebenfalls je nach der Art der Instrumente und der mit ihnen auszuführenden Beobachtungen in Räume für Durchgangsinstrumente im Allgemeinen und in solche für Instrumente mit äquatorealer oder universeller, azimuthaler Aufstellung.

a. Meridiansäle und Säle für Instrumente im I. Vertikal.

Die Räume für die Meridiankreise und Durchgangsinstrumente im Meridian und im ersten Vertikal unterscheiden sich in ihrer allgemeinen Anordnung nur dadurch, dass für die ersteren die freie Visuröffnung (Spalt) von Nord nach Süd liegen muss, für die letzteren aber von Ost nach West. Für Meridian-Beobachtungen muss ausserdem gewöhnlich eine grössere Horizontfreiheit gefordert werden als für solche im ersten Vertikal. Da man in den Meridiansälen, wenigstens bis jetzt,[1]) erheblich grössere Instrumente verwendet, als im I. Vertikal, so sind auch die Dimensionen der Meridiansäle dem entsprechend zu wählen. Die Grösse der Räume überhaupt wird im Wesentlichen nach dem Umfange der Instrumentaleinrichtung bemessen werden müssen, namentlich wird die Frage der Aufstellung von Nebenapparaten, Kollimatoren u. s. w. ausschlaggebend sein. Von der Aufstellung zweier oder gar mehrerer Hauptinstrumente in einem Raume ist man jetzt gänzlich abgekommen. Es dürfte dieses Vorgehen auch durchaus zu empfehlen sein, da ganz abgesehen davon, dass zwei Beobachter sich unter Umständen stören könnten, auch die Erwärmungs- und Strahlungsverhältnisse für die beiden Seiten der Instrumente verschieden sein würden; auch die nicht immer gleichmässige Benutzung der Dachklappen u. s. w. würde Ungleichförmigkeiten veranlassen.

---

[1]) Es wäre an sich nicht ausgeschlossen, auch im I. Vertikal grosse Instrumente, ähnlich den Meridian- oder Vertikalkreisen, zu gewissen Beobachtungen zu verwenden, ja es würde in mancher Hinsicht sogar wünschenswerth sein, diesen Versuch zu machen. Vergl. dazu „Durchgangsinstrumente im I. Vertikal der v. Kuffner'schen Sternwarte“, Wien.

Daraus geht auch sogleich hervor, dass das Instrument möglichst im Symmetriemittelpunkte des Saales aufgestellt werden soll und dass die Wände des Baues sowohl im Osten und Westen, als auch im Norden und Süden möglichst gleiche Beschaffenheit haben müssen. Alle hervorstehenden Einbauten, Nischen und dergleichen sind nach Möglichkeit zu vermeiden, da diese der freien Luftcirkulation hinderlich sind. Es wird demnach meist ein einfacher quadratischer oder rechteckiger Grundriss für die Säle zu wählen sein. Nur bei Raummangel oder aus architektonischen Rücksichten (welche aber beim Bau einer Sternwarte stets erst in letzter Linie in Frage kommen dürften, sobald sie mit den wissenschaftlichen Rücksichten kollidiren) hat man wohl auch in der Richtung der Visirlinie An- und Ausbauten der betreffenden Wände vorgenommen, wie es z. B. Fig. 1153 zeigt, welche den Grundriss der Sternwarte des Harvard-College darstellt; aber für vortheilhaft halte ich dergleichen auf keinen Fall. Die Form des Daches ist in den meisten Fällen flach gehalten mit geringer Neigung nach Norden und Süden und die Höhe der Räume darf der Temperaturausgleichung wegen nicht zu gering gehalten sein, wenn man nicht so weit herabgehen will, wie es bei temporären Stationen oft räthlich ist,

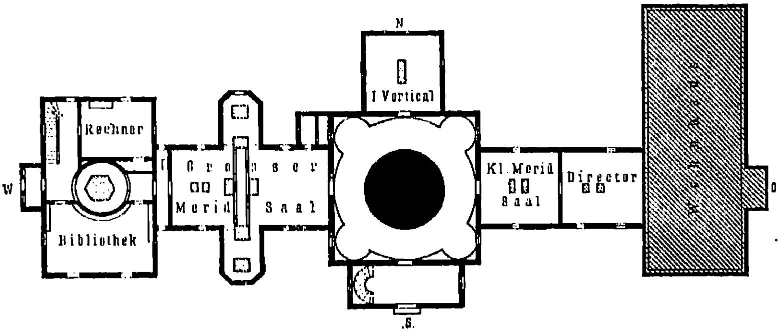


Fig. 1153.
(Aus Handbuch d. Architektur.)

dass für das Fernrohr bei den gewöhnlich vorkommenden Zenithdistanzen praktisch überhaupt nur ein sehr kleiner Theil des Beobachtungsraumes noch zwischen Objektiv und Wandung oder Dach des Schutzraumes zu liegen kommt. Es wäre deshalb auch die Frage, ob man nicht allgemeiner die ganze Form der Säle für Durchgangsinstrumente so wählen sollte, dass der Querschnitt Nord-Süd oder für Instrumente im I. Vertikal derjenige Ost-West sich einem Halbkreis nähert, dessen Centrum mit der Horizontalaxe des Instruments nahe zusammenfällt. Die Temperaturschichtung würde mit Rücksicht auf die Refraktionswirkung in solchen Räumen gewiss eine günstigere sein und die technischen Schwierigkeiten einer solchen Konstruktion kommen heutigen Tages doch gewiss kaum in Frage.[1]) Es würden mit einer solchen Konstruktion sogar auch technisch entschiedene Vorzüge verbunden sein; z. B. würde die Frage der geeigneten Dachkonstruktion, der Übelstand der Schneebelastung des Spaltverschlusses und dergleichen mehr wegfallen.

[1]) In den Fig. 1154a u. b ist ein solcher Bau dargestellt, wie ihn vor einigen Jahren Geheimrath Helmert in Potsdam für das geodätische Institut hat ausführen lassen.

Der Fussboden der Räume soll wegen der Standsicherheit der Instrumente nicht zu hoch über dem Erdboden liegen, jedenfalls nicht höher als etwa ein „Stockwerk", d. h. etwa 3—4 m. Es würde damit schon die Horizontalaxe des Instruments etwa 5—6 m über dem Erdboden zu liegen kommen, wenn man deren Höhe über dem Fussbodenbelag des Saales zu $1^1/_2$—2 m annimmt. Die in den Fig. 1152 u. 1156 zur Anschauung gebrachten Aufrisse einiger neuer Sternwarten lassen die dort gewählten Abmessungen genau erkennen.

Die Konstruktion des ganzen Baues ist früher entweder in Stein oder in Holz ausgeführt worden. Namentlich bei älteren Sternwarten findet man noch Meridiansäle mit Wänden aus meterdicken Steinmauern; dass diese dem dringend zu fordernden Temperaturausgleich sehr hinderlich sind, ist selbstverständlich, und sie veranlassen bei raschen Temperaturübergängen von Kälte zu Wärme im Frühjahre gewöhnlich arges Beschlagen aller Wände und sogar der Instrumente, selbst wenn für ausgiebige Ventilation durch

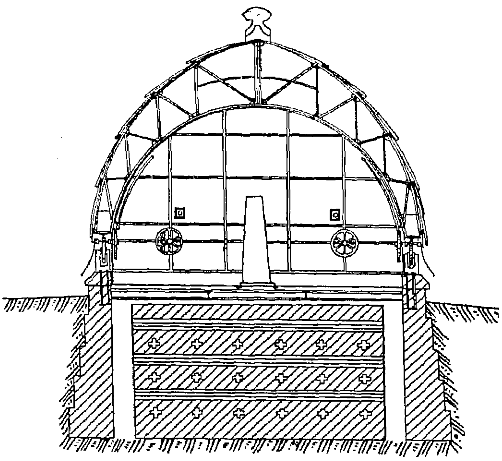


Fig. 1154a.

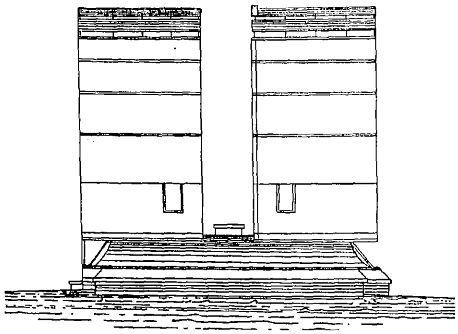


Fig. 1154b.

weite Spalten und grosse Fenster gesorgt ist.[1]) Die Holzbauten sind ebenfalls temperaturträge und leiden bei entsprechender Haltbarkeit unter umständlicher und schwerfälliger Konstruktion. Sind einmal Steinwände vorhanden, so müssen wenigstens die Spaltdurchbrüche möglichst breit und ihr Querschnitt so gewählt sein, dass die Wangen der Öffnung nach innen oder aussen zurücktreten, etwa wie es die Skizze in Fig. 1155 andeutet. Auch für das Dach sind grössere Flächen der Spaltbegrenzungen zu vermeiden und möglichst einfaches Sparrenwerk zu verwenden. In der Südwand sollten auch Fensteröffnungen entweder ganz vermieden oder doch nur solche mit starken, gewöhnlich geschlossen gehaltenen Läden versehene angebracht werden.

Ein grosser Theil solcher Bedenken fällt bei den neuerdings sehr vielfach gewählten Eisenkonstruktionen weg. Das Gerippe der Säle wird aus entsprechend starken Winkeleisen, ebenso die Dachkonstruktion aus solchen in

[1]) Thüren in den andere Räumlichkeiten abschliessenden Wänden sollten auf das dringend Nöthige beschränkt werden und dann nur als doppelte Thüren konstruirt sein.

Verbindung mit den nöthigen Ankern hergestellt und entweder mit einfachem oder doppeltem Wellblechbelag versehen. In letzterem Falle bleibt ein Zwischenraum von 10—15 cm und dieser dient gleichzeitig zu einer ausgezeichneten Ventilation, indem am Boden und an den Oberkanten der Vertikalwände Öffnungen für freien Luftdurchzug ausgespart werden.[1]) Diese Cirkulation darf nicht durch horizontal verlaufende Streben und dergleichen in erheblicher Weise gestört werden. Bei dem Bodenbelag der Meridiansäle ist besonders darauf zu achten (wie schon erwähnt), dass alle durchgehenden Pfeiler völlig frei von demselben bleiben; auch für die Unterstützung dieser Schwebeböden empfiehlt sich die Anwendung eiserner Längsträger mehr als solcher von Holz, namentlich dann, wenn durch feuchte

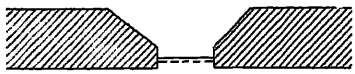


Fig. 1155.

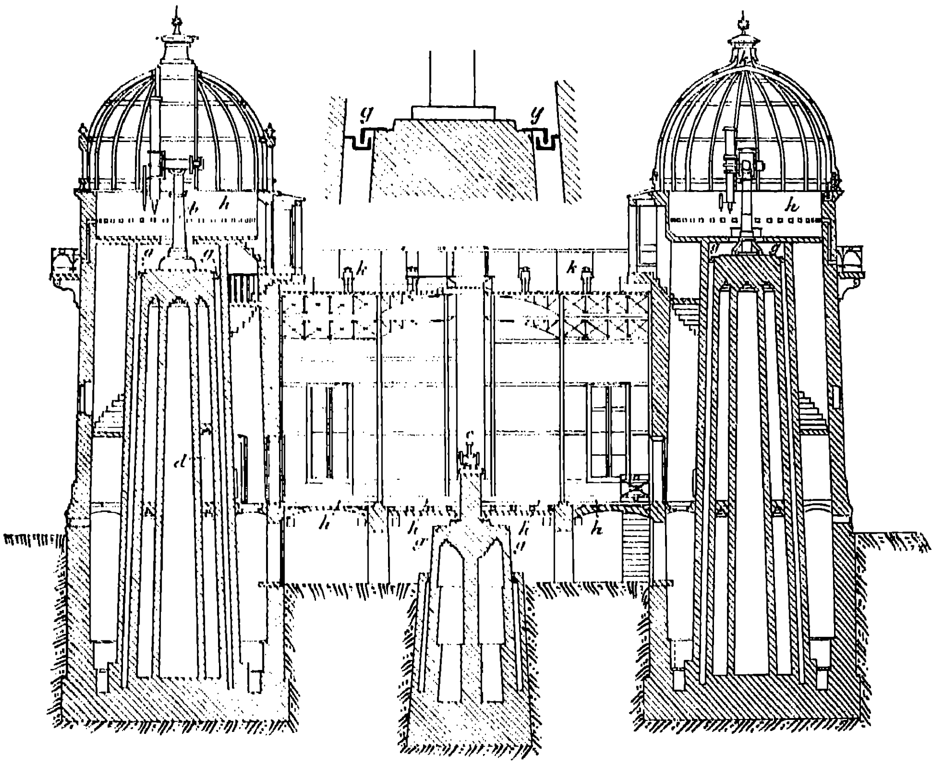


Fig. 1156.

Kellerräume Stagnation der Luft unter diesen Schwellen und so leicht ein Faulen derselben eintreten kann. Gegen ein Senken des Bodenbelages und seiner Träger und damit eine im Laufe der Zeit etwa eintretende Berührung der Pfeiler durch dieselben sind sichere Vorkehrungen zu treffen. Es würde mit Leichtigkeit manches Beispiel anzuführen sein, wo durch solche Berührungen lange Beobachtungsreihen minderwerthig geworden sind und es

[1]) Für die äussere Dachbedeckung wählt man dann auch Holzcementbelag mit kurz gehaltenem Graswuchs.

dann lange gedauert hat, bis die verborgenen, störenden Ursachen aufgefunden wurden.

Bei der Anordnung der Träger ist eventuell Rücksicht zu nehmen auf Schienengeleise, die im Beobachtungsraum zum Transport der Umlegeböcke für die Instrumente oder für Gehäuse[1]) der Durchgangsinstrumente vorhanden sein müssen. Namentlich für die Geleise zu ersterem Zwecke sind möglichst Schienen aus einem Stück zu verwenden, und die Befestigung auf der Unterlage nicht mittelst diese Schienen durchsetzender Schrauben zu bewirken, sondern dieselben sind bei ⊥-förmigem Querschnitt mit Krampen auf der Unterlage anzuheften, da die Schraubenköpfe nur schwer so sicher versenkt werden können, dass Erschütterungen beim Darüberfahren ausbleiben. (Die Räder der Umlegeböcke u. s. w. sind recht gross zu wählen.)

Für die leichtere Benutzung kleinerer Instrumente sind mehrfach das Gebäude umgebende Terrassen mit Platten- oder Betonbelag angelegt worden. So bequem dieselben auch zum Herausfahren transportabler Instrumente sind, so wirken dieselben durch die starke Ausstrahlung, wenn sie tagsüber von der Sonne beschienen werden, auf die Temperaturverhältnisse namentlich vor Meridiansälen höchst nachtheilig, nicht allein durch Verschlechterung der Bildqualität, sondern auch durch Störung der regelmässigen Refraktion. Es sollten deshalb dieselben an jenen Stellen stets vermieden werden. Am zweckmässigsten hatte es sich bisher erwiesen, wenn die Gesichtslinien der Instrumente zunächst möglichst über Grasflächen oder mit niederem Strauchwerk bepflanzte Strecken hinweggehen.

b. Thürme für fest aufgestellte Instrumente mit allseitig freier Visirrichtung.

Im Allgemeinen gelten für diese Bauten dieselben Bedingungen für Temperaturkonstanz und leichte Ausgleichung, Ventilation und Stabilität, wie für die Meridiansäle, nur brauchen auch hier, wie es schon bei den Pfeilerbauten erwähnt wurde, diese Forderungen nicht so streng gestellt zu werden. Die Form und der Aufbau wird meist die Gestalt von Thürmen mit kreisförmigem oder regulär-vieleckigem Querschnitt annehmen. Die Höhe richtet sich nach den Terrainverhältnissen oder danach, ob die Beobachtungsthürme selbstständige Bauten sind oder als Theile eines grösseren, auch die Meridian- und Wohnräume umfassenden Gebäudes aufgeführt werden. Auf keinen Fall soll man aber mit denselben höher gehen, als die Horizontalfreiheit unbedingt erfordert. Auch in dieser Beziehung ist auf Zenithdistanzen über 85° kein allzu grosses Gewicht zu legen. Viel wichtiger ist die Berücksichtigung der nächsten Umgebung, als Dächer, andere Kuppelbauten u. s. w., welche durch die von ihnen ausgehende Strahlung sehr wohl störend wirken können.

---

[1]) Einer allzu ausgiebigen Verwendung solcher Gehäuse, namentlich schwerer Konstruktion, möchte ich nicht das Wort reden. Ihre Bewegung ist häufigen Störungen ausgesetzt. Sie nehmen bei freien Instrumenten einen grossen Raum in Anspruch. Soll das Instrument gegen Staub u. s. w. geschützt werden, so dürften leichte Rahmen mit Vorhängen mehr zu empfehlen sein.

Für kleinere oder temporäre Observatorien wird man häufig zu ebener Erde bleiben und eventuell auch auf die Anlage von Drehdächern verzichten können, an deren Stelle vielmehr die Dächer so einrichten, dass sich einzelne Theile derselben in Form von Klappen je nach dem Bedürfniss öffnen und schliessen lassen. Ohne näher darauf einzugehen, bringe ich solche Einrichtungen in den Fig. 1157 u. 1158 zur Darstellung.[1])

Für grössere Anlagen werden aber stets Drehthürme oder Drehdächer (Kuppeln) zur Anwendung kommen. Die Formen, welche man diesen giebt, sind je nach der Grösse der Anlage und den zur Verfügung stehenden Mitteln verschieden. Die Form der Kuppeln resp. ihrer Drehdächer ist verschieden, je nachdem die beweglichen Theile nur das Dach selbst darstellen oder auch ein Theil der Seitenwandung mitbewegt wird. Auf alle Fälle hat die untere Kante des drehbaren Theiles mindestens bis zum Horizont des



Fig. 1157.

Bewegungscentrums des Instruments herabzureichen. Meistens giebt man den Kuppeln die Gestalt einer Halbkugel oder diejenige eines mehr oder weniger stark geneigten Kegels, der als Dach sich meistens auf einem cylindrischen Wandbau entweder allein oder in Verbindung mit dem oberen Theil der Wandung dreht. Die Skizzen in Fig. 1159 lassen die Querschnittform einiger solcher Kuppeln erkennen. In den die drehbaren Theile tragenden Thurmwandungen lassen sich meist in Verbindung mit Nischen und Einbauten die Fenster anbringen, nur bei Anlagen grösseren und grössten Stiles sind solche neben dem Spalt auch in den drehbaren Kuppeltheilen vorgesehen.

---

[1]) Fig. 1157 stellt eine deutsche und Fig. 1158 eine französische Station zur Beobachtung des Vorüberganges der Venus vor der Sonnenscheibe von 1874 dar.

Bei grosser Stabilität der Drehkuppeln ist doch auf deren Leichtigkeit besonders Bedacht zu nehmen; es werden deshalb in der Gegenwart nur noch Eisenkonstruktionen in Frage kommen, soweit es sich um das Gerippe handelt. Als Bedeckung hat sich im Allgemeinen Zinkblech gut bewährt, wenn es in Verbindung mit einer inneren Holzverschalung angewendet wird, wodurch die durch das Kondensationswasser eintretenden Übelstände nach Möglichkeit herabgemindert werden.[1]) In den älteren Bauten dieser Art finden sich auch häufig noch solche Drehdächer mit Holzkonstruktion. Die



Fig. 1158.



Fig. 1159.

Festigkeit der Kuppel wird immer stark beeinträchtigt durch die nöthige Spaltöffnung, namentlich, wenn ein sogenannter „durchgehender" Spalt gefordert wird. Es darf dann im Allgemeinen eine Verbindung beider Kuppel-

[1]) Über den Instrumenten selbst bringt man ab und zu sowohl in Kuppelbauten, als auch in Meridiansälen noch besondere Schwebedächer oder Vorhänge an, von denen letztere gleich so eingerichtet werden können, dass sie bei Sonnenbeobachtungen zum Schutz des Instruments oder Theilen desselben dienen können, so lange diese nicht unmittelbar der Sonne ausgesetzt werden müssen (Objektiv während der Beobachtungsdauer). Vergl. dazu die Darstellung in Fig. 1185.

hälften nur an deren Basis stattfinden, wenn man nicht zu komplicirten Einrichtungen greifen will, die auswechselbare oder drehbare Verbindungen (vergl. in Fig. 1173 den Bügel a, a) bedingen. Betreffs vorzüglicher Temperaturausgleichung sind solche die ganze Kuppel durchschneidende Spalten gewiss vorzuziehen, auch der Umstand, dass weniger Bewegung erforderlich ist beim Übergang von einer Himmelsgegend zu einer anderen, spricht für dieselben und hat bei besonders grossen Kuppeln wohl ihre Anwendungen meist veranlasst. Dagegen bieten Durchschnitte, die nur bis zum Zenith oder

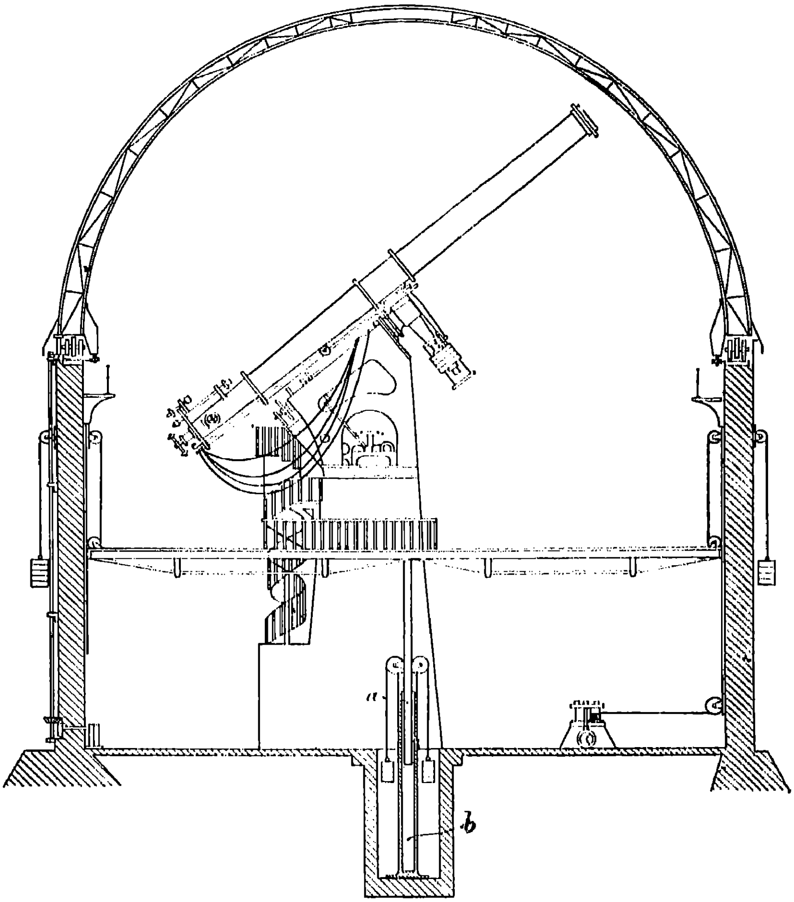


Fig. 1160.
(Nach Handbuch d. Architektur.)

wenig darüber hinausreichen, sowohl den Beobachtern, als auch dem Instrument besseren Schutz gegen die Unbilden der Witterung, namentlich gegen starken Wind.[1] Die Konstruktion der Kuppel steht überhaupt in innigem Zusammenhang mit der Form der gewählten Spaltöffnung, und diese kann sich wieder als ein medialer Ausschnitt von gleicher Breite (0,8—1,8 m) oder

[1]) Bei den grossen Instrumenten der Neuzeit sind häufig besondere Zuggardinen und Klappen vorgesehen worden, welche die kleinen Schwankungen, in welche starker Wind solche grosse Fernrohre versetzt, nach Möglichkeit verhindern sollen.

in der Form eines Kugelsektors darstellen, wie er für die Aufstellungsräume von Kometensuchern und dergleichen gefordert werden kann.

Die Fussböden sind selbstverständlich auch nur auf die Umfassungswände zu lagern, im Übrigen aber als Schwebeböden zu konstruiren. Für einige der grossen Observatorien, z. B. für diejenigen auf dem Mount Hamilton und am Lake Geneva (Yerkes Observatory),[1]) sind Fussböden konstruirt worden, welche sich auf hydraulischem Wege oder durch elektrische Maschinen heben und senken lassen. Es sollen dadurch die grossen Beobachtungsstühle, welche bei den mächtigen Dimensionen der Instrumente bedeutende Höhe erhalten müssten und damit eine gewisse Unsicherheit für den Beobachter darbieten, vermieden werden.

Es ist aber keine Frage, dass solche umständlichen und kostspieligen Einrichtungen sich nur im grossen Stile als zweckmässig erweisen werden, ganz

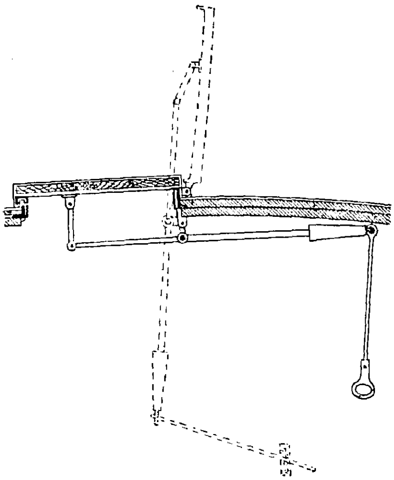


Fig. 1161.
(Nach Handbuch d. Architektur)

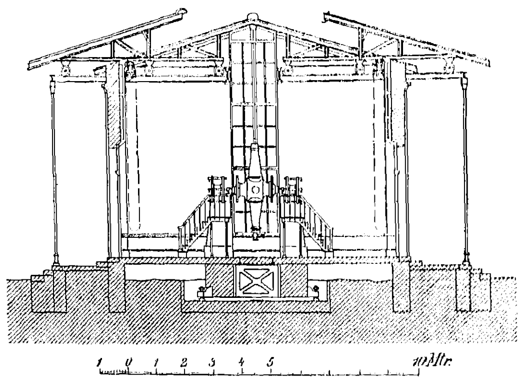


Fig. 1162.

abgesehen davon, dass die komplicirten Konstruktionen zu manchen Übelständen führen können.

Die Ausführung dieser beweglichen Podien kann eine verschiedene sein. In Fig. 1160 ist eine solche mit centralen Führungs-Kolben (Lick-Sternwarte) dargestellt und in Fig. 1080 diejenige des Yerkes-Observatoriums mit elektrischem Hebemechanismus; in beiden Fällen wird ein grosser Theil der Last durch am Rande angreifende Gewichte, deren Seile über geeignete Rollen laufen, äquilibrirt und die Plattform selbst durch entsprechende Führungen geleitet und in ihrer Lage erhalten.

c. Spaltverschlüsse und Drehdächer.

Eine der wesentlichsten Fragen beim Bau der Observatorien ist stets diejenige, welche die Einrichtung der Spaltverschlüsse betrifft, während eine

[1]) Auch der Refraktorbau der Urania-Sternwarte zu Berlin besitzt einen solchen beweglichen Fussboden.

zweite von gleicher Wichtigkeit sich an den für die Bewegung der Drehthürme anzuwendenden Mechanismus knüpft. Für die Spalten der Meridiansäle und der Durchschnitte im Ost-West-Vertikal ist die Einrichtung dieser Verschlüsse mit weit geringeren Schwierigkeiten verknüpft, als für diejenigen der sich mehr oder weniger der Kugelgestalt nähernden Kuppeln.

Am einfachsten ist im ersteren Falle die Anwendung gewöhnlicher Klappen, die für die Öffnungen in den Wänden gewöhnlich in mehreren Theilen nach aussen schlagend angebracht werden. Es ist dabei nur darauf zu sehen, dass sowohl für die Wandtheile, als für die Dachklappen ein weites Zurückschlagen ermöglicht wird, da diese Klappen sonst eine ähnliche Wirkung ausüben, wie es bei dicken Wänden und Dacheinbauten der Fall sein würde. Auch werden sie bei senkrechter Stellung zur Wand oder Dachfläche dem Winde erheblichen Widerstand leisten und in Folge dessen stärker konstruirt sein müssen. Die Dichtigkeit gegen Regen und Schnee lässt sich durch Übereinandergreifen der einzelnen Klappentheile leicht herstellen. Die Unbequemlichkeit des Öffnens und Schliessens solcher Klappen kann unter Umständen als ein Nach-

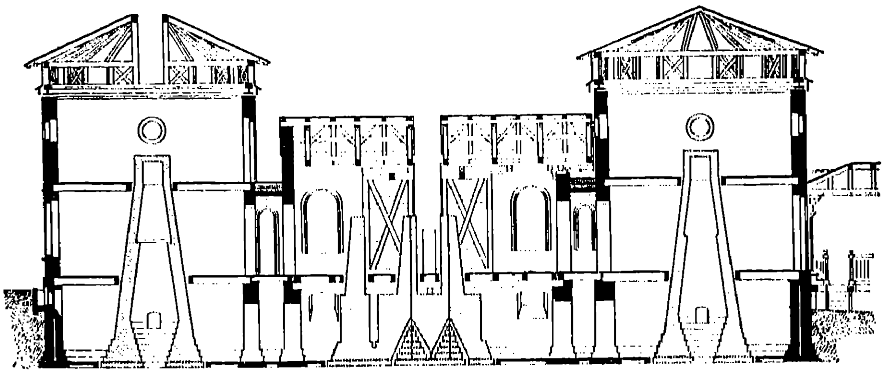


Fig. 1163.
(Aus Handbuch d. Architektur.)

theil dieser einfachen Einrichtung angesehen werden. Bei sehr breiten Spalten müssen eventuell Doppelklappen zur Anwendung gelangen, die von den Spalten nach beiden Seiten zurückschlagen. Die Fig. 1152 u. 1161 zeigen solche Klappenverschlüsse einfacher Art und lassen auch den Mechanismus zum Öffnen und Schliessen, sowie die Ausgleichung der Last erkennen.

Fig. 1162 zeigt die Dachkonstruktion der Meridianhäuser der neuen Nizzaer Sternwarte. Es schieben sich hier die beiden Dachhälften auf besonderen Schienen, welche über die Wände nach Osten und Westen hinausragen, ganz aus einander, sodass während der Beobachtung das Dach fast ganz geöffnet werden kann. Jede Dachhälfte ist wieder dreitheilig konstruirt, um das Gewicht der zu bewegenden Theile zu verringern. Die Bewegung geschieht durch Zahnstange und Zahnrad in ganz einfacher Weise durch Vermittlung eines Seillaufes, wie die Figur leicht erkennen lässt.[1]

[1]) Auch in anderer Weise hat man ganze Theile des Daches zum Verschieben eingerichtet, wie es z. B. in Fig. 1163, welche einen Querschnitt der Sternwarte zu Kiel darstellt, zu erkennen ist.

Ganz zweckmässige Spaltverschlüsse in Form von Rollläden für die Wanddurchschnitte, verbunden mit Schiebdächern sind vom Bauinspektor WEVER beim Umbau der Göttinger Sternwarte zur Anwendung gelangt. Dieselben

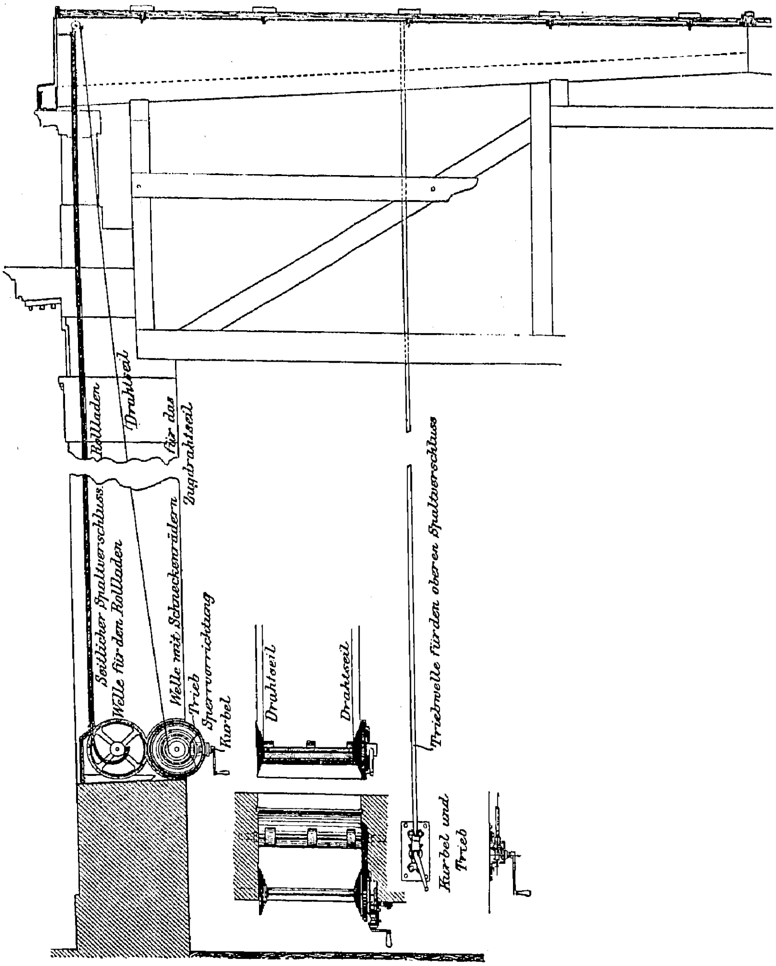


Fig. 1164.

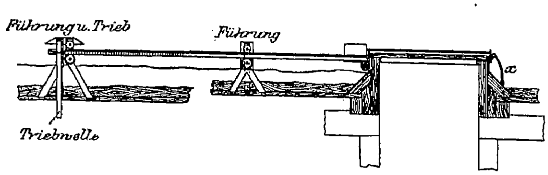


Fig. 1165.

zeichnen sich durch gute Dichtung aus; den Jalousien könnte höchstens der Vorwurf gemacht werden, dass das Öffnen und Schliessen etwas langsam geht. Die Einzelheiten der Anordnung zeigt die Fig. 1164. Ein Mann ist mit

[1]) Umbau der Sternwarte zu Göttingen, mitgetheilt vom Bauinspektor Wever. Zschr. d. Archit. u. Ingen.-Vereins zu Hannover 1893, Heft 21.

ganz geringem Kraftaufwande im Stande, mit einer Hand den Rollladen zu öffnen und zu schliessen; auch lässt sich derselbe in jeder beliebigen Höhe feststellen.

Für den Verschluss der Öffnung im Dach sind die früher vorhandenen Klappen durch einfache wagerechte Schiebeplatten ersetzt, Fig. 1165, deren

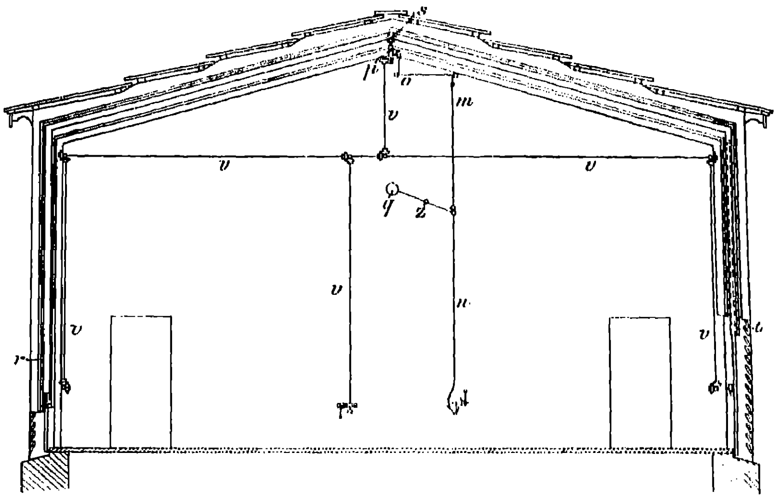


Fig. 1166.

zwei das ganze Dach schliessen.[1]) Also auch hier ist wiederum die Möglichkeit gegeben, eine Hälfte des Daches zu öffnen und die andere Hälfte geschlossen zu lassen. Die hölzernen Schiebeplatten werden in der Richtung quer zum Meridianspalt verschoben, und zwar erfolgt diese Verschiebung mit Hülfe von Zahnstange, Zahnrad, senkrechter (langer) Welle, Kegelrädern und Kurbel vom Zimmer aus. Die Zahnstange greift in der Mitte der Länge der Schiebeplatte an. Bei geöffnetem Zustande wird letztere durch Führungsrollen auf dem Dache getragen, Fig. 1165. Schon für die Strassburger Sternwarte war ein Spaltverschluss projektirt, welcher den ganzen Durchschnitt auf einmal zu öffnen und zu schliessen gestattet, doch kam dieser Vorschlag später nicht zur Ausführung (es wurden Klappenverschlüsse angebracht,

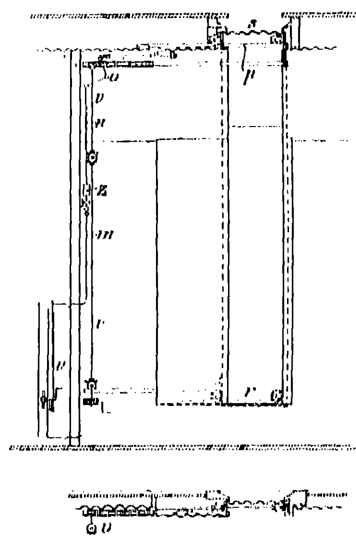


Fig. 1167.

[1]) Auch in München hat man einen solchen Schieberverschluss eingerichtet, der in Fig. 1168 zum Theil dargestellt ist, und an dem sich die Vorrichtungen zur Dichtung gegen Wind und Wetter gut erkennen lassen. Der Schieber A bewegt sich auf der Leiste a und vor der Fensteröffnung auf dem Theil c, welcher sich, sobald die Klappe ihn verlässt, durch das beschwerte Ende b zurückklappt.

wie Fig. 1152 erkennen lässt), wohl aber wurde dieses Projekt beim Bau der Bamberger Sternwarte wieder aufgenommen und in der Weise durchgeführt, dass ein die volle Breite des Spaltes deckender Schieber r, s, t, Fig. 1166 u. 1167, von Grundmauer zu Grundmauer über den First hinwegführt, der sich zwischen die beiden Wandverschalungen (aus Zinkwellblech) mittelst der Transmissionen v, v, v von einer Stelle aus hineinschieben lässt, wodurch zugleich der Vortheil gewonnen wird, dass weder nach innen noch nach aussen eine Veränderung der Strahlungsverhältnisse nach dem Öffnen des Spaltes entsteht. Dieser Schieber ruht an beiden Enden und am Firsttheil bei p mittelst Rollen auf entsprechenden Führungsleisten, von denen die im First nach Öffnen des Spaltes noch durch einen besonderen Mechanismus m n o ebenfalls zurückgeschoben werden kann.[1]) Es ist dadurch natürlich die Möglichkeit ausgeschlossen, einzelne Theile des Spaltes für sich zu verschliessen, wenn man nicht noch besondere Gardinen oder leichtere Klappen verwenden will, aber die volle Freiheit der Luftcirkulation ist von grossem Werthe; denn etwaige Annehmlichkeiten bei der Beobachtung sollten bei der Ausführung aller astronomischen Messungen, und namentlich solcher zu funda-

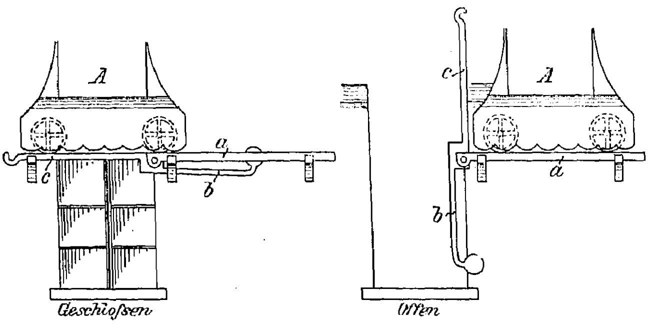


Fig. 1168 a.

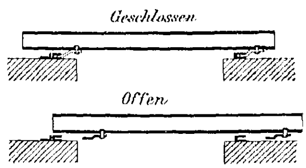


Fig. 1168 b.

mentalen Zwecken, wie es in Meridiansälen doch meist der Fall ist, immer erst in zweiter Linie in Frage kommen, und die Vermeidung von etwas Zug auf Kosten der Sicherheit der Refraktionskorrektion dürfte meines Erachtens keine Rolle spielen. Ich glaube daher, dass die in Bamberg zur Anwendung gekommene Spalteinrichtung nahezu das Ideal sein dürfte, da man für Sonnenbeobachtungen von einem schnell zu schliessenden und zu öffnenden Vorhange in möglichster Nähe des Instruments[2]) doch nicht wird absehen können.

Wesentlich schwieriger sind die Spaltverschlüsse für Kuppelbauten herzustellen, da hier die abgerundete Form derselben technische Schwierigkeiten

---

[1]) Die Vorlagen zu den Fig. 1166 u. 1167 verdanke ich der besonderen Zuvorkommenheit des Herrn Direktors E. Hartwig. Die Bewegung der Firstleiste wird durch das Gegengewicht Z erheblich erleichtert.

[2]) Solche Vorhänge sind so nahe als möglich am Instrument vorbei zu führen, damit durch ihr Öffnen und Schliessen die Temperaturschichtungen nur für einen sehr beschränkten Theil des Meridiansaales verändert werden.

hervorruft.[1]) Es würde unmöglich sein, die im Laufe der Zeit angewandten Einrichtungen alle aufzuzählen; es können deshalb hier ebenso, wie es bei denjenigen der Meridianbauten geschah, nur einige der neueren und bewährteren Konstruktionen erwähnt werden. Der Spalt kann hier die ganze Kuppel durchschneiden oder auch nur bis zum Zenith oder wenig darüber hinausreichen. Die Art des Verschlusses hängt insofern davon ab, als man demselben in

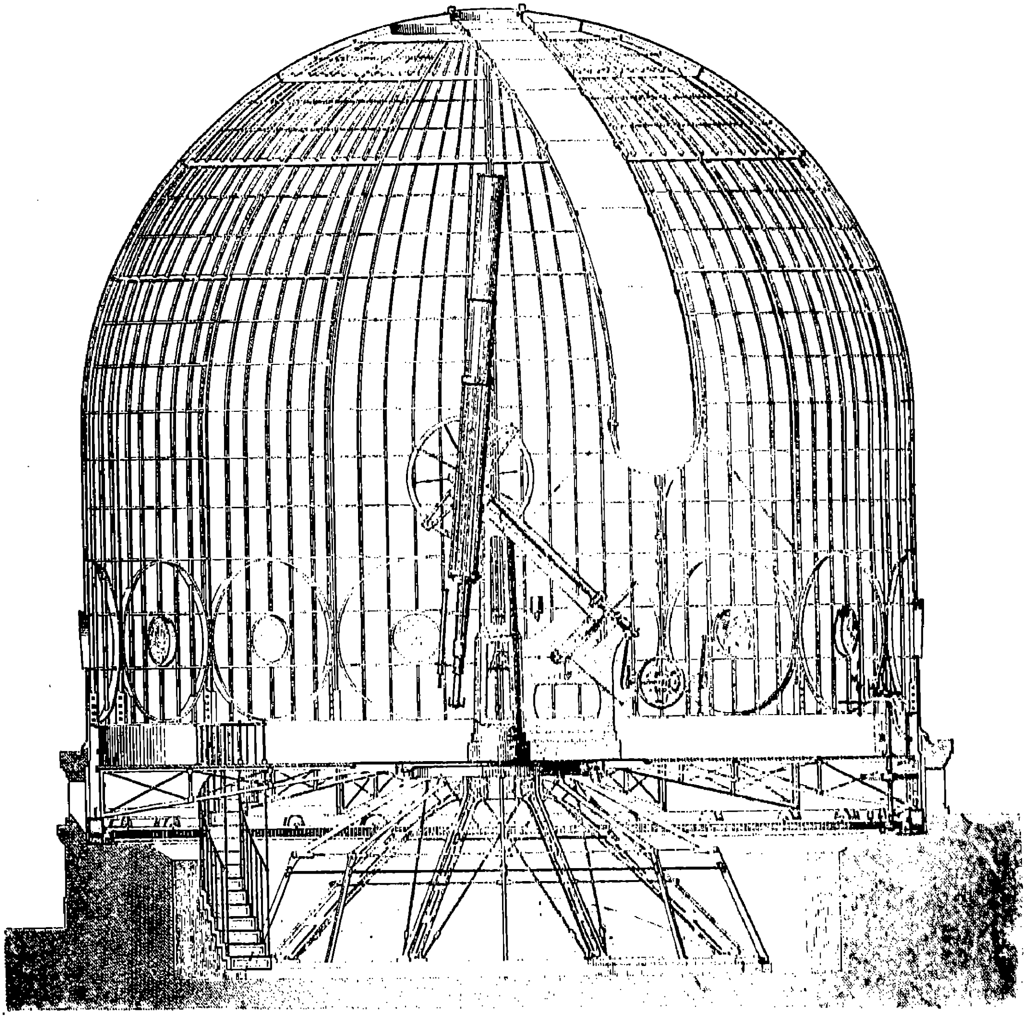


Fig. 1169.

letzterem Falle eine centrale Stütze resp. Drehaxe geben kann, in ersterem aber nicht.

Durchgehende Spalten werden gewöhnlich durch Schieber geschlossen, welche ganz ähnlich denen der Meridiansäle gebaut sind und je nach der Breite des Spaltes aus einem seitlich verschiebbaren Theile oder aus zwei

[1]) Sind die Drehdächer als flache Kegel oder Pyramiden konstruirt, so werden sich auch da die Verhältnisse denen der Meridiansäle ähnlich gestalten lassen (z. B. in Pulkowa).

oder mehreren nach beiden Seiten symmetrisch auseinander gehenden cylindrischen Theilen bestehen. In den Fig. 1169—1171 sind einfache und mehrtheilige und in den Fig. 1172—1176 solche nach zwei Seiten zugleich sich öffnende doppelte Schieber dargestellt. Gewöhnlich wird die Verschiebung durch eine oder mehrere starke, eiserne Schrauben bewerkstelligt, welche entweder nur ein oder zwei nach entgegengesetzten Seiten steigende Gewinde haben, Fig. 1173. Diese Schrauben haben ihre Führungen in einem oder mehreren auf dem Kuppelkranze befestigten Lagern, während die Muttertheile mit den

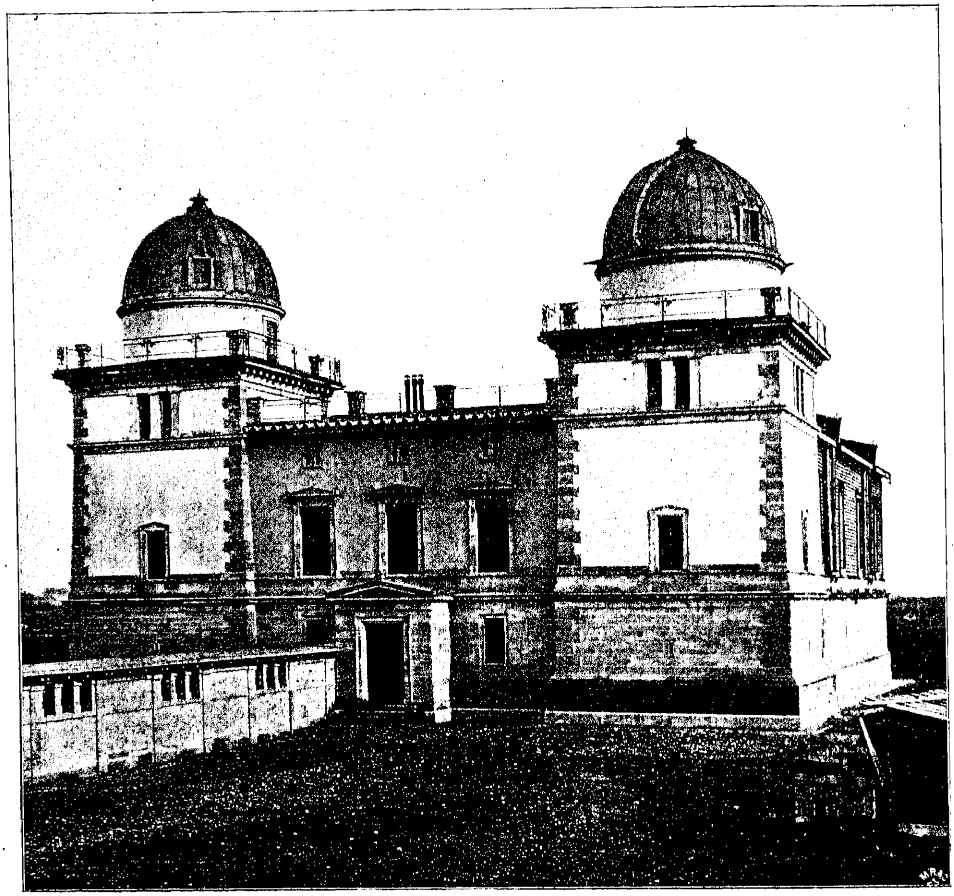


Fig. 1170.

Schiebern verbunden sind. Bei grossen Kuppeln ist wohl auch im Zenith noch eine solche Schraube oder wenigstens eine dritte Führung angebracht. Auch ein Auseinanderschieben der beiden Hälften des ganzen Drehdaches ist z. B. bei der Kuppel für das Altazimuth in Strassburg zur Anwendung gebracht worden, wie die Fig. 1150 erkennen lässt, doch dürfte diese Einrichtung nur für kleinere Kuppeln anwendbar sein und ausserdem haben sich dabei auch einige andere Übelstände herausgestellt. Maassgebend für diese Konstruktion war die Forderung eines ungewöhnlich breiten Spaltes für diese

verhältnissmässig kleine Kuppel und die Wahrung der vollen Symmetrie. Der letztere Punkt ist überhaupt bei den drehbaren Theilen der Kuppeln immer besonders zu berücksichtigen, weil bei ungleichmässiger Belastung die gleich weiter zu erwähnenden Gleit- oder Rollenwerke unsicher und schwer funktioniren. Der in Fig. 1177 dargestellte Verschluss einer sektorenförmigen Kuppelöffnung, wie sie oben schon erwähnt wurde, trägt dieser Forderung z. B. keine Rechnung.

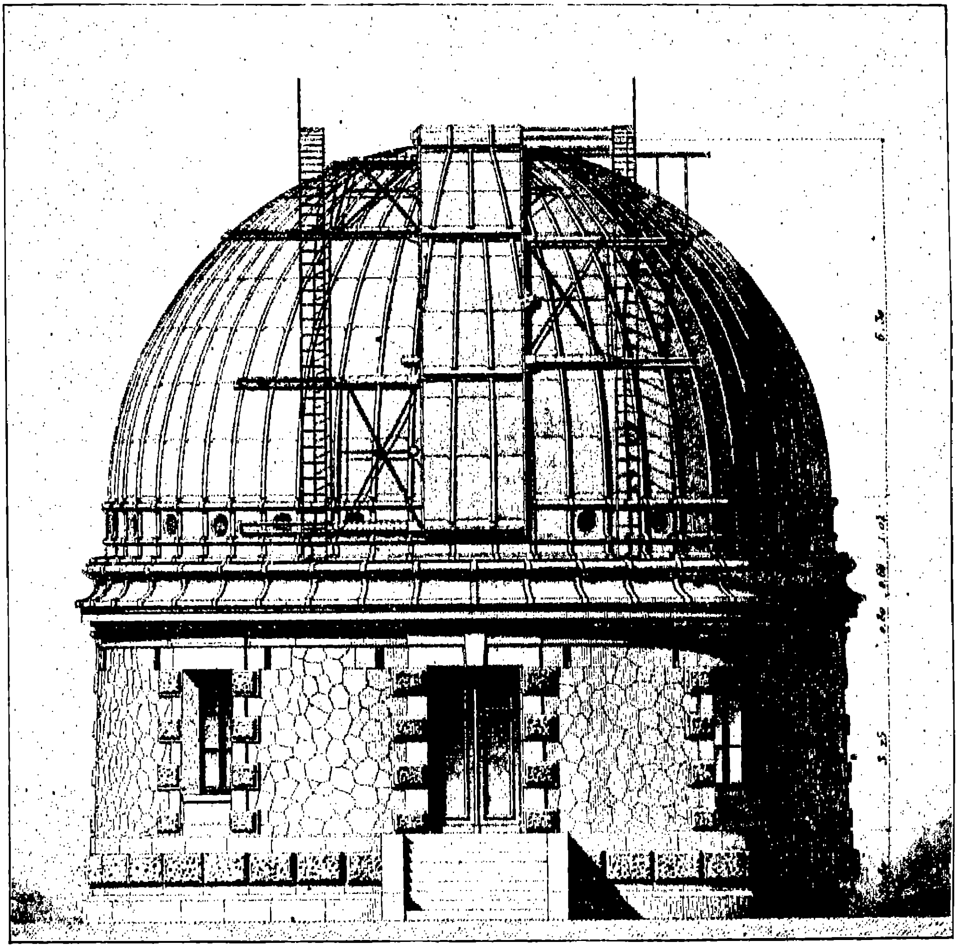


Fig. 1177.

Bei der in Fig. 1178 zur Anschauung gebrachten Kuppel von G. Heyde in Dresden ist der Verschluss durch zwei um ein und denselben centralen Zapfen drehbare cylindrische Bögen hergestellt, die sich bis zu diametraler Stellung nach beiden Seiten verschieben lassen; auch ist dabei auf die bis zum Zenith reichende gleiche Breite des Spaltes Bedacht genommen, was sonst bei dergleichen Einrichtungen häufig vermisst wird.

Einen recht zweckmässigen Spaltverschluss wendet Grubb seit längerer Zeit bei vielen seiner Kuppeln an. Es ist das ein der Form der Kuppel

(Halbkugel) genau entsprechender Schieber, welcher sich in der lichten Öffnung des Spaltes zwischen dessen aus]-förmigen Eisenplatten gebildeten Rändern derart bewegen lässt, dass er sowohl den nur einseitig bis zum Zenith reichenden Spalt verschliesst, als sich vollständig auf die entgegengesetzte Seite durch Ketten oder Seile schieben lässt. Diese Einrichtung ist auch in Deutschland bei vielen Kuppeln zur Anwendung gekommen und

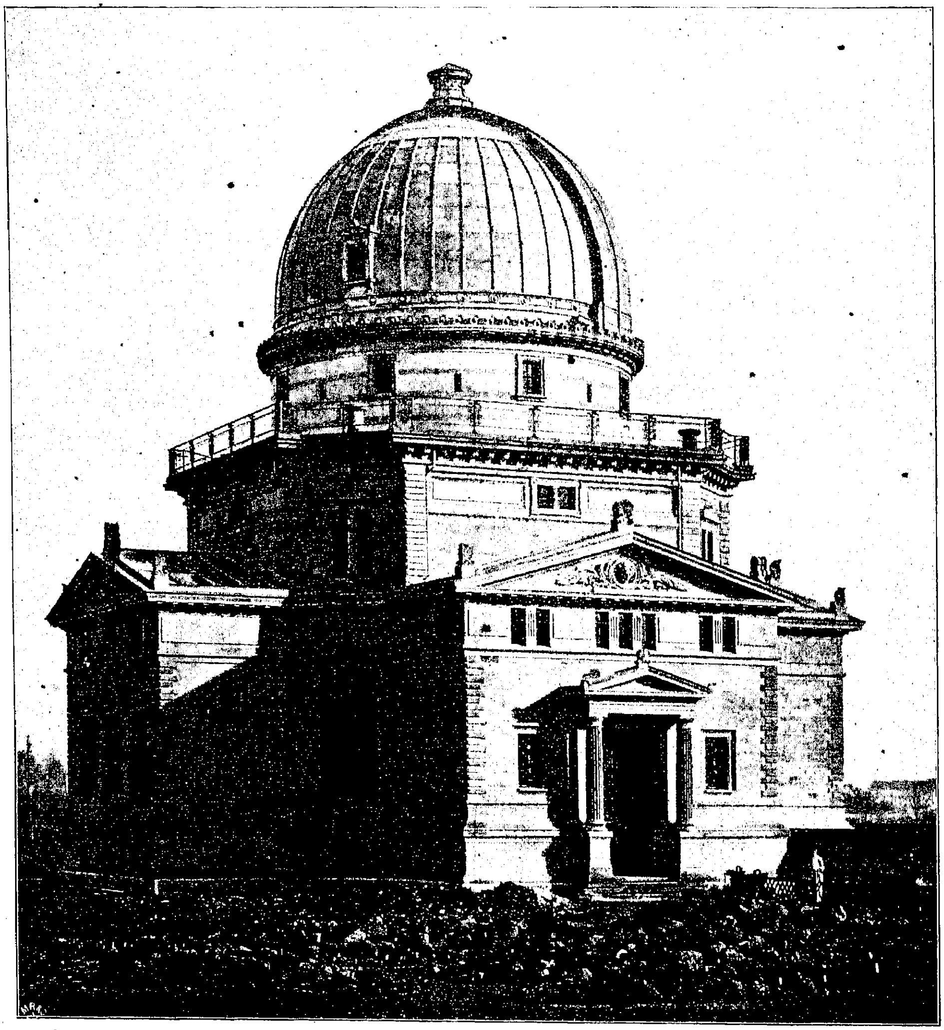


Fig. 1172.

hat sich bei sorgfältiger Ausführung und Behandlung recht gut bewährt. In Fig. 1179 ist die Einrichtung dargestellt, wie sie sich bei der grossen Kuppel der Wiener Sternwarte findet, während die Fig. 1180 u. 1181 die Details des Bewegungsmechanismus noch besser erkennen lassen. Sie stellen die Einrichtung der Kuppel der Göttinger Sternwarte dar. Wever, der die Aufstellung derselben leitete, beschreibt dieselbe am angegebenen Orte eingehender.

„Der Spaltverschluss ist ein an den Seiten durch Winkeleisen verstärktes Eisenblech S, Fig. 1180, welches durch Rollen R u. R′ geführt wird und zwar in senkrechter und wagerechter Richtung.

Ein Drahtseil, welches den Spaltverschluss jederseits nahezu in der Mitte fasst, geht über und zwischen den kleinen Rollen m, m′, Fig. 1181, im Zenith der Kuppel zu den mit Ketten an einander gereihten Gegengewichten a, a, a. (In den schematischen Fig. 1181 a, b, c, welche den Spaltverschluss in drei Stellungen wiedergeben, sind der leichteren Übersicht wegen die im Zenith befindlichen Führungsrollen m und m′ des Drahtseils aus der Fläche des Spaltverschlusses herausgenommen und als um wagerechte Axen sich drehend dargestellt.)

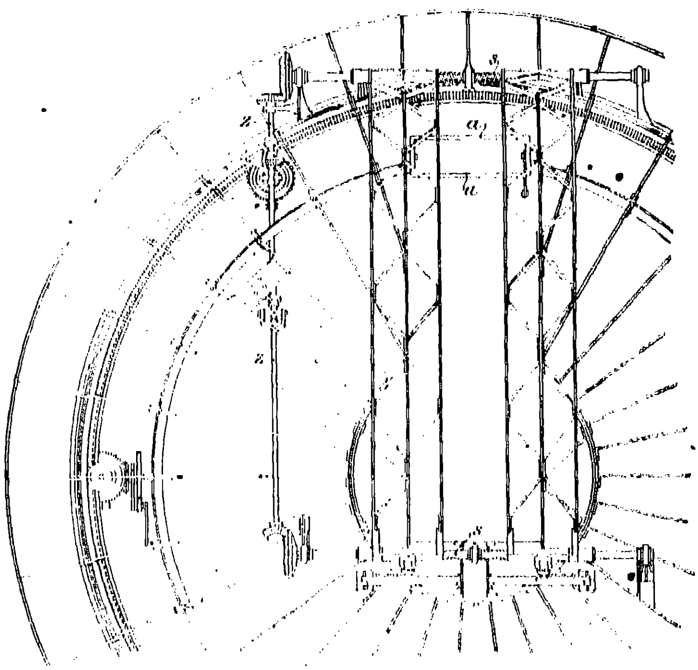


Fig. 1178.
(Aus Handbuch d. Architektur.)

Während des ersten Abschnittes der Bewegung legen sich die an dem einen Ende des Drahtseils befindlichen Gewichte an dem unteren Theile des Kuppelkranzes auf einander, und zwar so, dass das Gegengewicht zum Spaltverschluss in dem Grade geringer wird, als der Spaltverschluss selbst durch seine Bewegung über das Zenith hinaus weniger Gegengewicht erfordert. Kurz bevor die Mitte des Spaltverschlusses das Zenith überschreitet, ruhen die Gegengewichte alle auf einander und der Spaltverschluss gleicht sich selbst aus (vergl. Fig. 1181 b). Sobald die Mitte des Spaltverschlusses das Zenith überschritten hat, geht das Drahtseil nur noch über eine der Rollen m und hebt die Gegengewichte wieder an und zwar ein Gewicht nach dem anderen, je nach dem Fortschreiten der Bewegung.

Mit dem Zugseile Nr. 1 wird der Spalt geöffnet, mit dem Zugseile Nr. 2 geschlossen. Da bei geöffnetem Spaltverschlusse das Zenith frei sein sollte, durfte der Verschlussschieber nicht ganz einen Viertelkreis gross sein. Um dies zu erreichen, hat Grubb unten eine zweiflügelige eiserne Thüre an-

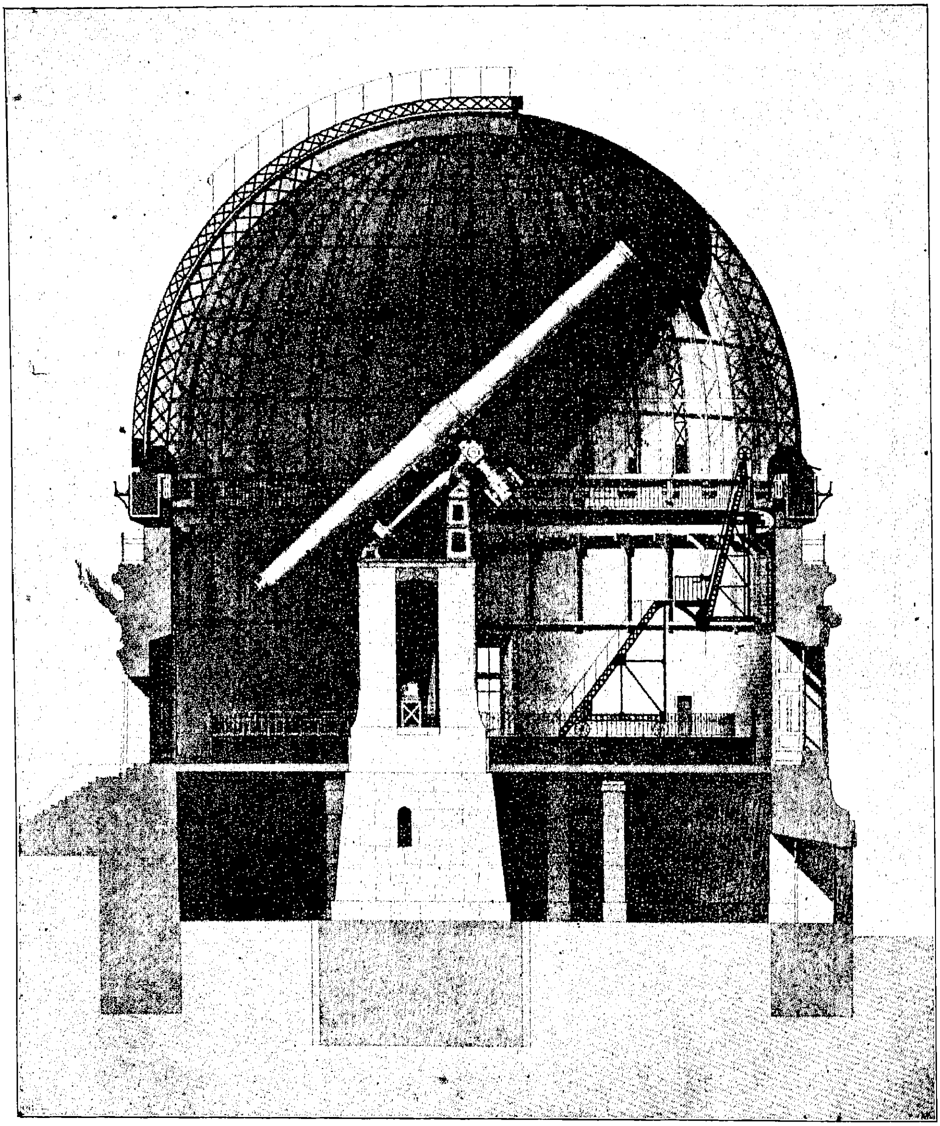


Fig. 1174.

gebracht, Fig. 1181 b, die, durch zwei Federn getrieben, sich von selbst öffnet, sobald der Spaltverschluss sich hebt. Beim Schliessen desselben fassen zwei gebogene Eisen seitlich hinter die Thürflügel und drücken sie zu, Fig. 1181 a. In geschlossener Stellung überdeckt der Spaltverschluss die Thüren um etwa 3 cm und ruht auf ihnen." Eine ähnliche Einrichtung

zeigt die Fig. 1182, welche einen Beobachtungsthurm des geodätischen Instituts zu Potsdam darstellt, dessen Aufbau auch bezüglich der Pfeilerkonstruktion von Interesse sein dürfte.

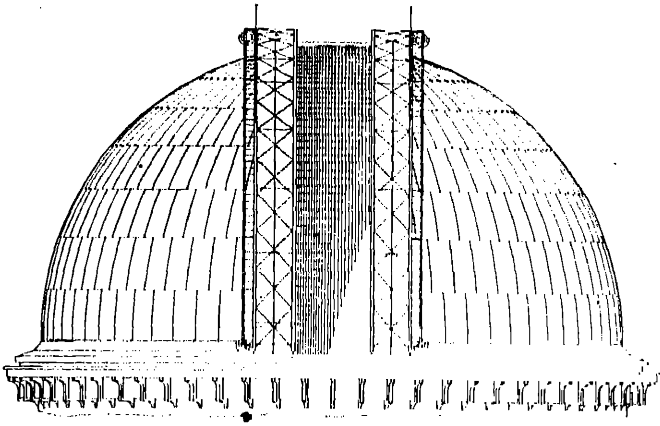


Fig. 1175.

Schliesslich bringe ich in Fig. 1183 noch eine von den bisherigen ganz abweichende Einrichtung zur Anschauung, über welche ich aber kein Urtheil abgeben kann, da mir nichts über deren Zweckmässigkeit bekannt geworden ist. Die den durchgehenden Spalt verschliessende Klappe bewegt sich um

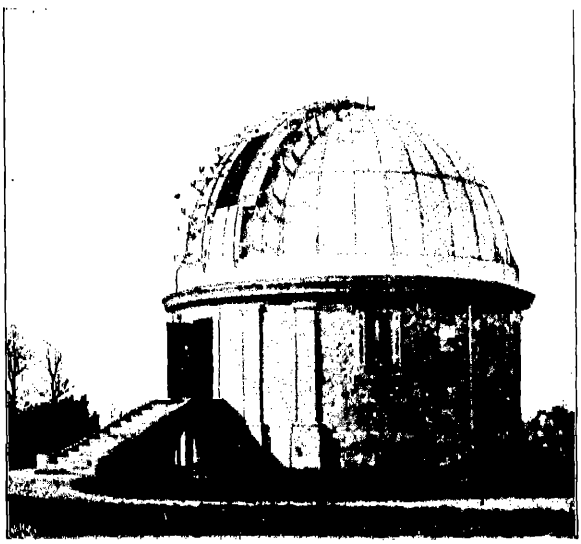


Fig. 1176.

zwei Zapfen, welche nahe der Basis der Kuppel liegen und horizontal gerichtet sind, sodass sich bei Öffnen des Spaltes dessen Verschluss nach der einen Seite herunterklappt.

Der Bewegungsmechanismus der Kuppeln ist ebenfalls in sehr verschiedener Weise ausgeführt worden. Für kleine Kuppeln empfiehlt es sich

immer noch, einfach in zwei Rinnen laufende Kugeln aus Stahl (nicht zu viele, etwa 4—8), von möglichst genau gleichem Durchmesser, anzuwenden. Die eine der Rinnen liegt fest auf der Umfassungsmauer, während die andere die Basis des Drehdaches bildet. Einfache Handhaben am inneren Rande des Daches dienen dann zur Drehung desselben.

Sind die Kuppeln grösser als etwa 4—5 m Durchmesser, so müssen an die Stelle der Kugeln Räder in verschiedener Anordnung treten und die Bewegung muss mittelst Zahnradwerkes in mehr oder weniger starker Übertragung stattfinden. Der Angriff erfolgt dann entweder durch Reibung eines oder mehrerer Räder auf der Laufschiene (GRUBB's kleine Kuppeln, Göttingen) oder durch Eingriff in einen Zahnkranz, der in verschiedener Form der Kuppelbasis angefügt ist. Die Fig. 1160, 69, 73 u. 79 stellen solche Einrichtungen in mehrfacher Anordnung dar. Auch die ganze Kuppel innen oder aussen umspannende Seile hat man zur Bewegung derselben in Anwendung gebracht,

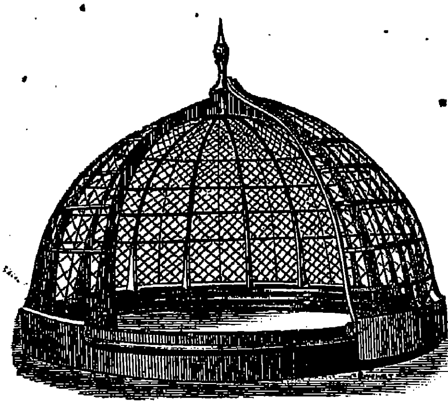


Fig. 1177.
(Aus Handbuch d. Architektur.)

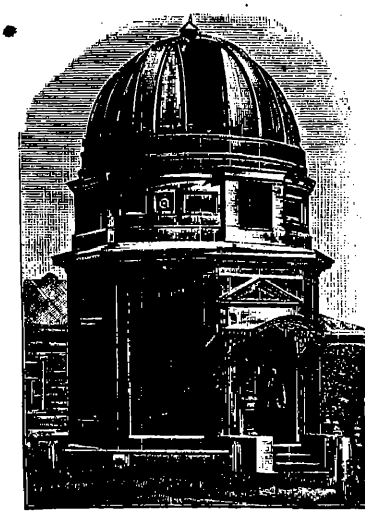


Fig. 1178.

wie es z. B. die Fig. 1184 a u. b zeigen, welche Theile der von WARNER & SWASEY gebauten Kuppel des Smith-College, Northampton, darstellen. Es ist dabei gewissermassen die ganze Kuppel als eine grosse Rolle benutzt. An der Innenseite der Kuppelbasis ist eine rinnenartige Leiste a, a befestigt, hinter welcher das starke Tau d entlang läuft. Bei b, b' trifft dasselbe auf zwei Rollen, welche mit ihrer Peripherie nahezu auf gleicher Höhe mit der Rinne a liegen. Diese Rollen sind mit dem grösseren Rade c zugleich an der Umfassungsmauer befestigt. Das Tau läuft ausser über die Rollen b, b' auch noch um eine dritte, die mit c auf derselben Axe sitzt. Durch Drehung des Rades c mittelst des Seiles f kann dann das erwähnte Seil d in der Rinne nach und nach abgewickelt und die Kuppel damit gedreht werden. Für nicht zu grosse Dächer dürfte die Anordnung ihrer Einfachheit wegen sehr zu empfehlen sein. Auf alle Fälle möchte ich davor warnen, grössere Kuppeln nur durch die Reibung eines Rades auf der Laufschiene zu bewegen,

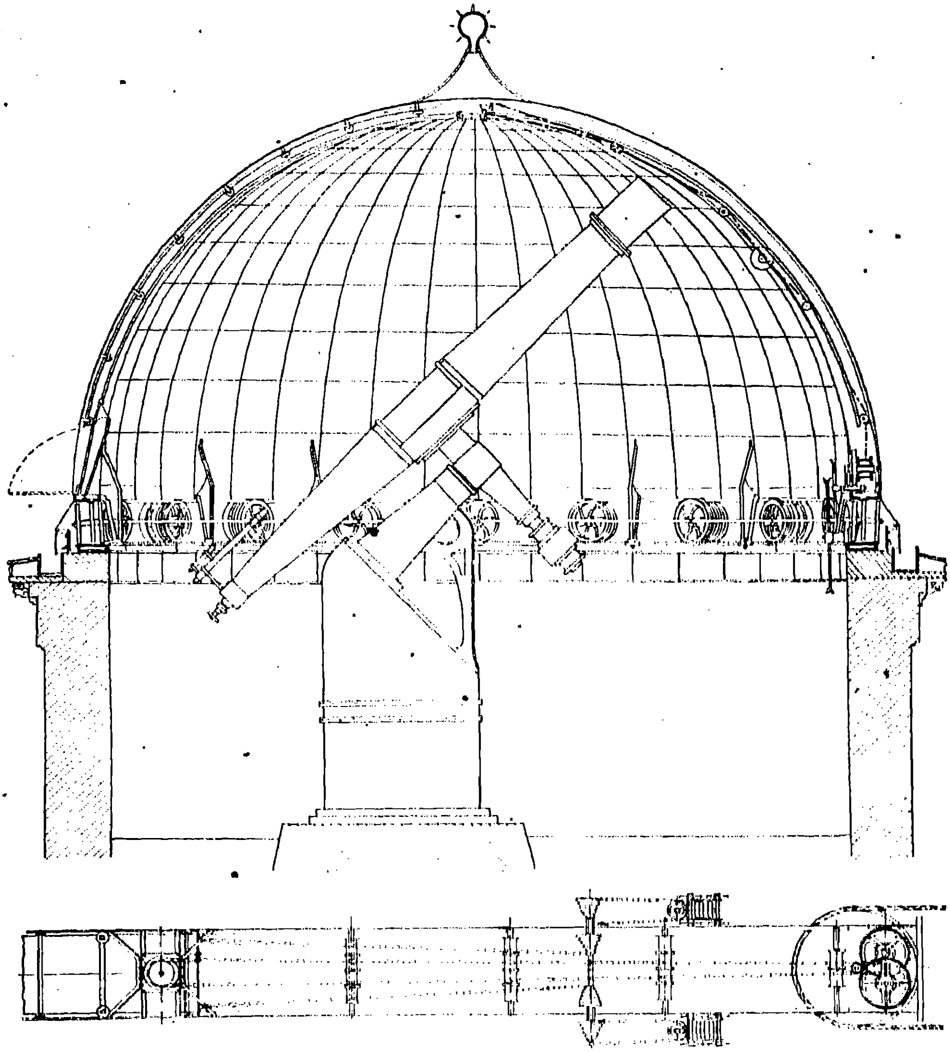


Fig. 1179.
(Nach Engineering 1180.)

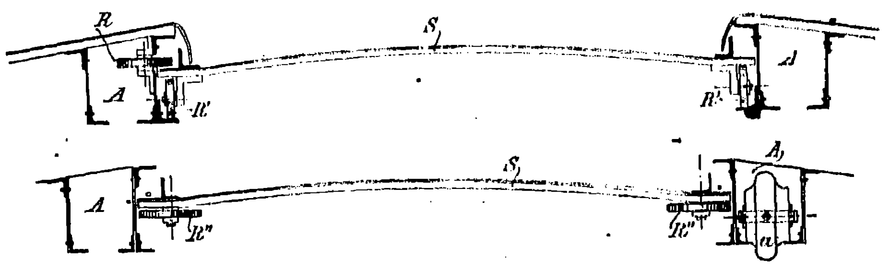


Fig. 1180.

da bei Glatteis und dergleichen dann häufig eine Bewegung unmöglich wird, vielmehr ist die Benutzung eines Zahnkranzes auch für kleinere Bauten, wenn sie auch etwas kostspieliger ist, allen anderen Einrichtungen sicher

vorzuziehen. Indem ich betreffs der Anordnung der Räder sowohl der ihnen zu gebenden Form, Zahl und Befestigung nach, als auch bez. ihrer eventuellen Kuppelung unter einander auf die typischen Formen in den beigebrachten Figuren verweise, möchte ich nur noch bemerken, dass das Gewicht der Kuppeln in neuerer Zeit durch den Auftrieb, welchen besonders angebrachte

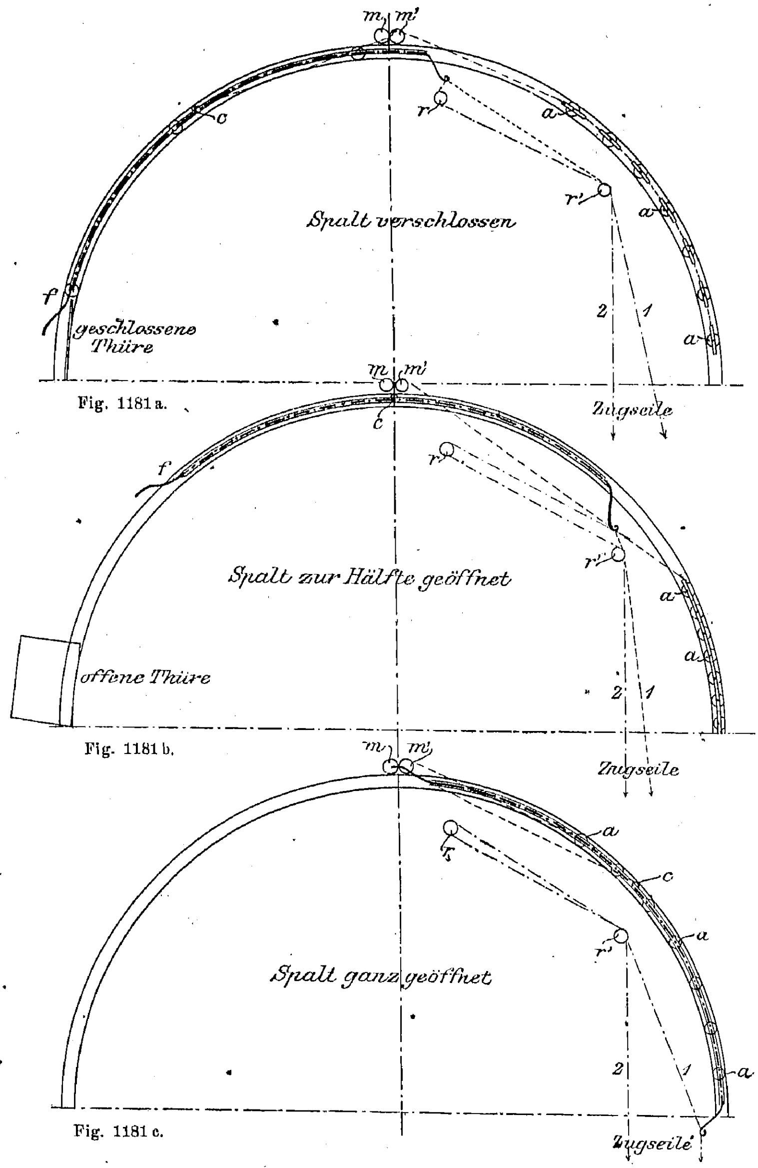


Fig. 1181 a.

Fig. 1181 b.

Fig. 1181 c.

Luftkästen an der Basis der Kuppeldächer, in Flüssigkeitsbehältern erleiden, zum Theil getragen wird, sodass auf dem Gleitmechanismus nur eine verhältnissmässig geringe Last ruht. Namentlich ist eine solche Einrichtung nach dem Entwurfe von Eiffel bei der Kuppel für den grossen Refraktor zu Nizza ausgeführt worden. Die Fig. 1174 u. 1185 lassen die Details dieser

Konstruktion genau erkennen, dieselben sind nach den Originalzeichnungen des ausführenden Ingenieurs Garnier hergestellt. Die benützte Flüssigkeit darf natürlich nicht gefrieren und muss möglichst geringe Verdunstung besitzen; man hat eine Magnesium-Chlorid-Lösung zur Anwendung gebracht. Statt Holz oder Metallbelag hat man in England jetzt mehrfach Papiermaché zur Deckung der Kuppeln angewendet.

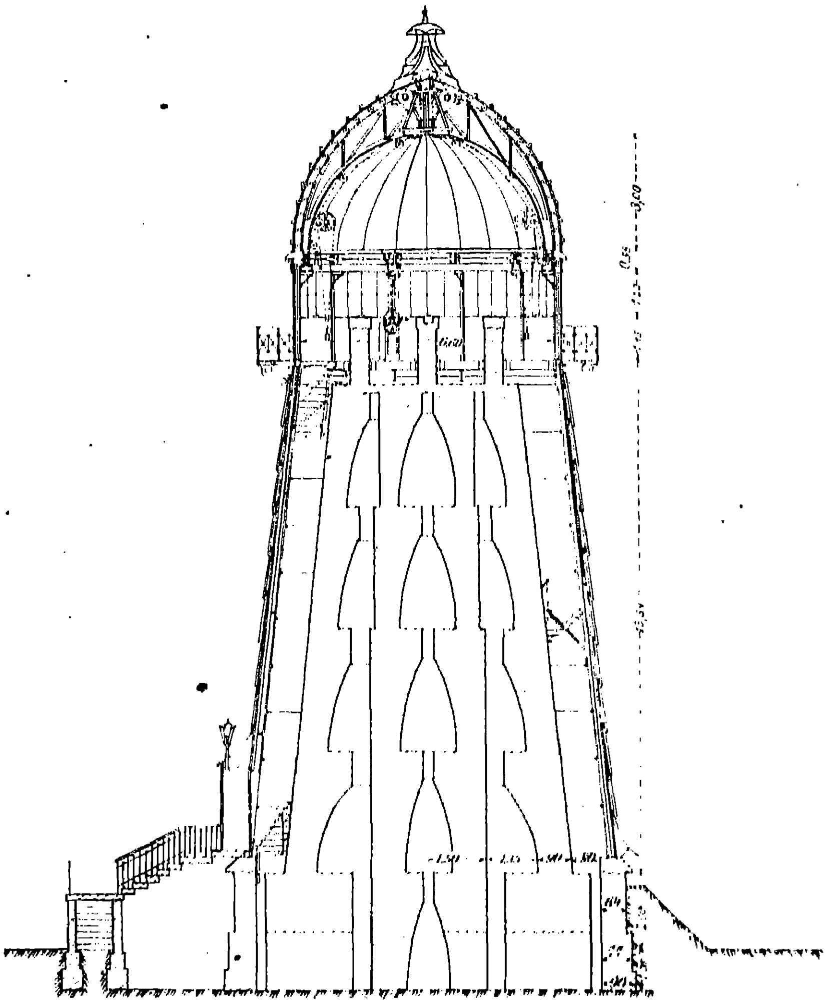


Fig. 1183.

Gegen Blitzgefahr sind die häufig auf exponirten Orten erbauten Sternwarten durch Blitzableiteranlagen zu schützen, und es ist dabei auf eine durch Schleifkontakte (eventuell mit feilenähnlichen Berührungsflächen) oder durch die Räderführungen gut gesicherte Verbindung der beweglichen mit den festen Gebäudetheilen besonderes Augenmerk zu richten. Auch dürfte es sich empfehlen, die erheblichen Metallmassen grosser Instrumente an das Blitzableiternetz anzuschliessen.

2. Einiges über die Gesammtanlage der Sternwartenbauten.

Man kann, abgesehen von ganz kleinen oder temporären Anlagen, im Allgemeinen drei Typen astronomischer Observatorien unterscheiden, obgleich der vielfachen Übergangsformen wegen strenge Unterscheidung kaum möglich sein wird.

Erstens sind die Beobachtungsräume mit den Wohnräumen derart verbunden, dass sich im Allgemeinen der Grundriss in einer Kreuzform darstellt, bei welchem gewöhnlich die Meridiansäle im Osten und Westen eines grösseren, centralen Kuppelbaues liegen, während sich im Süden ein Saal für ein Instrument im Ost-West-Vertikal anschliesst; den vierten nach Norden gerichteten Arm des Kreuzes nehmen meistens die Wohnräume der Astronomen ein. Die Meridiansäle sowohl als auch der Südflügel werden sehr häufig noch durch kleinere Kuppelanlagen für weitere äquatoreal oder sonst universell aufgestellte Instrumente flankirt. Eines der typischen Beispiele für eine solche Anlage bietet die neue Wiener Sternwarte dar.[1]) Es ist keine Frage, dass diese Art der Anlage eine bequeme Zugänglichkeit der Beobachtungsräume von den Wohnräumen aus darbietet. Ebenso wird eine gefällige und häufig monumentale Architektonik sich mit dieser Form eines grossen Observatoriums recht wohl verbinden lassen. In den letzten Jahrzehnten sind dagegen nicht unbegründete Bedenken laut geworden, welche sich im Wesentlichen auf die Strahlungseinflüsse der den Meridiandurchschnitten nahe liegenden Wände und auf die die Hauptkuppel umgebenden Dächer der anderen Gebäudetheile beziehen. Ob letzterer Nachtheil durch die auch bei anderen Observatorien in Vorschlag gebrachte und vorgesehene Berieselung der Dachflächen[2]) zu heben wäre, ist schwer zu sagen. Auch die z. B. bei der Wiener Sternwarte vorhandenen Terrassen, welche einen grossen Theil der Beobachtungsräume umgeben, dürften Nachtheile der oben schon geschilderten Art mit sich bringen.

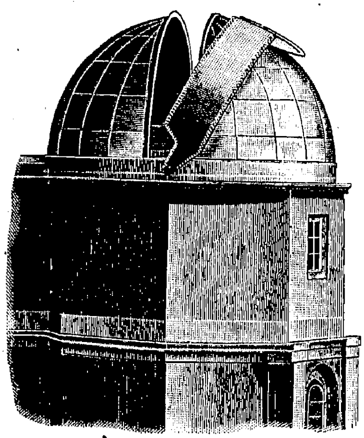


Fig. 1183.

Eine grosse Anzahl der seit den 40er Jahren errichteten Observatorien ist dem Beispiel gefolgt, welches bei der Anlage der russischen Nikolai-Haupt-Sternwarte zu Pulkowa gegeben worden ist. Dort sind die Gebäude derart an einander gereiht, dass den centralen Theil des Observatoriums ein Kuppelbau einnimmt, der in seinem unteren Stockwerke eine geräumige

---

[1]) Auch die Berliner Sternwarte hat eine ähnliche Anordnung.

[2]) Solche Einrichtungen sind z. B. in Strassburg für den Meridian- und den Kuppelbau vorgesehen, ebenso in Bamberg. Auch ist dort durch Wahl einer mit kurzem Rasenwuchs bedeckten Dachkonstruktion dieser Strahlung zu begegnen versucht worden.

Halle enthält, über welche sich eine Kuppel wölbt, die von vier starken, auf einem besonderen Fundamente ruhenden Pfeilern getragen wird. Der Scheitel dieses Kuppelbaus trägt, wie bei vielen später erbauten Observatorien, die Säule für ein grosses Äquatoreal.

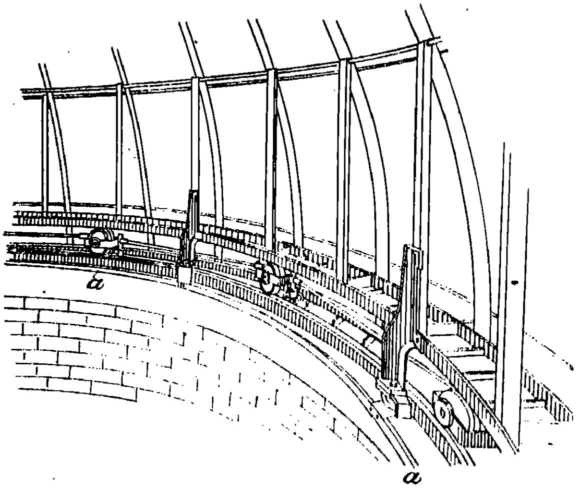


Fig. 1184 a.

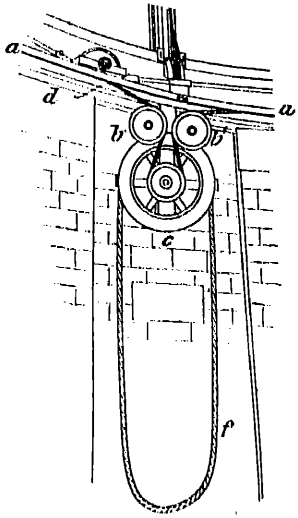


Fig. 1184 b.

An die eigentlichen Aussenmauern des centralen Theiles schliesst sich im Süden ein Saal für Beobachtungen im I. Vertikal und im Norden Vestibül und Treppenhaus. Im Osten und Westen folgen die Meridiansäle

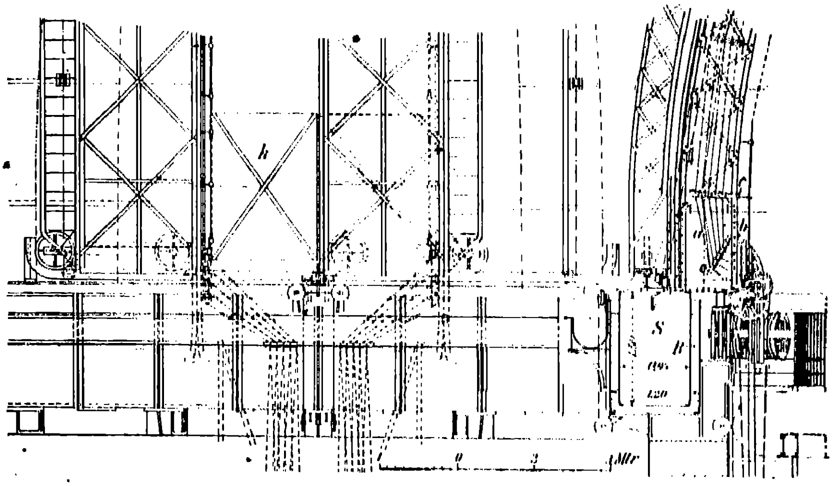


Fig. 1185.

und daran stossen zunächst Arbeitszimmer, an welche sich je nach Süden gerichtet wieder kleinere Kuppelbauten anschliessen. Die im Osten und Westen die eigentlichen Beobachtungsräume flankirenden Arbeitsräume sind durch längere, einstöckige Gänge mit den Wohnhäusern der Astronomen verbunden, sodass die ganze Anlage sich im Wesentlichen als ein von Ost nach West

lang gestreckter Gebäudekomplex darstellt, in welchem die einzelnen Theile möglichst wenig störend auf die Bestimmung der übrigen einzuwirken vermögen.

Für kleinere Instrumente sind auch in Pulkowa schon vier von den übrigen Gebäuden getrennte Thürme erbaut und für den neuen, grossen Refraktor wurde, ebenfalls isolirt vom Hauptgebäude, ein besonderes Gebäude mit achteckigem Drehthurme aufgeführt.

Nach ähnlichem Principe sind später z. B. die Sternwarten Cambridge (Mass.), Kopenhagen, Kiel, Washington u. s. w. gebaut worden. Während das allerdings der Meridiansäle entbehrende astrophysikalische Observatorium zu Potsdam gewissermassen einen Übergang zwischen den bisher erwähnten beiden Typen bildet.

Eine völlige Trennung der einzelnen Beobachtungsräume soweit thunlich sowohl von einander als namentlich von den Wohngebäuden scheint sich nach den bisher gemachten Erfahrungen am besten zu bewähren, da nur auf diese Weise den vom Standpunkte des Astronomen zu stellenden Forderungen am besten Genüge geleistet werden kann, was allerdings zum Theil auf Kosten der Bequemlichkeit geschehen muss. Die architektonische Seite dagegen kann auch bei solchen Anlagen sehr wohl zur Geltung gebracht werden, wie das z. B. die Strassburger Sternwarte erkennen lässt.

Nach diesem Principe ist auch die Sternwarte zu Bamberg erbaut, während Übergänge zwischen diesem dritten Typus und den in zweiter Linie erwähnten, sehr häufig anzutreffen sind.

Es konnte und sollte in diesem Schlusskapitel nur in ganz kurzen Zügen auf die bei den Anlagen von Observatorien leitenden Gesichtspunkte hingewiesen werden, da es in dem Rahmen dieses Buches nicht angängig ist, auf die speciellen Eigenthümlichkeiten der einzelnen vielleicht als vorbildlich zu bezeichnenden Sternwartenbauten näher einzugehen. Es sind vielmehr nur in aller Kürze einige principiell wichtige Punkte angegeben worden, auch ohne den Anspruch, in dieser Beziehung irgendwie erschöpfend zu sein. Die Lage des zur Verfügung stehenden Geländes, die Umgebung, die Art der aufzustellenden Instrumente sowie die Ansichten des leitenden Astronomen, das sind Punkte, welche dafür maassgebend sein werden, ob der Architekt sich dem einen oder anderen der erwähnten Typen näher anschliessen wird. Je nach dem einzelnen Fall sollte von vornherein ein stetes Zusammenarbeiten des den allgemeinen Plan aufstellenden Astronomen mit dem die Bauleitung führenden Architekten stattfinden, wobei es allerdings auch für den Astronomen von grosser Wichtigkeit ist, dass er selbst einigermassen beurtheilen kann, ob sich dieser oder jener seiner Vorschläge in technischer Beziehung ausführen lässt.

Eine Reihe von Beschreibungen verschiedener Sternwarten findet sich in dem mehrfach angeführten „Handbuch der Architektur“ und am Schlusse des betreffenden Abschnittes ist ein umfangreiches Litteratur-Verzeichniss gegeben, auf welches ich hier noch besonders hinweisen möchte, da es zum Theil weniger allgemein bekannte Quellen aufführt.

Namenregister.

Sachregister.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

S.